



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM091585

STUDI PENGARUH WAKTU PENAHANAN QUENCHING-PARTITIONING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 51B60 DAN BAJA AISI 9260 BEKAS

MUHAMMAD HARY KUSUMA
NRP. 2115 105 013

Dosen Pembimbing
SUWARNO., ST, MSc., PhD

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – TM091585

STUDI PENGARUH WAKTU PENAHANAN *QUENCHING-PARTITIONING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 51B60 DAN BAJA AISI 9260 BEKAS

Muhammad Hary Kusuma

NRP. 2115 105 013

Pembimbing:

Suwarno., S.T., M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



FINAL PROJECT – TM091585

**EFFECT OF *QUENCHING-PARTITIONING* TIME ON
MECHANICAL PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURE OF AISI 51B60 AND AISI 9260
SCRAP-STEELS**

Muhammad Hary Kusuma

NRP. 2115 105 013

Advisory Lecturer :

Suwarno., S.T.,M.Sc.,Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2017

**STUDI PENGARUH WAKTU PENAHANAN
QUENCHING-PARTITIONING TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO BAJA AISI 51B60 DAN BAJA AISI
9260 BEKAS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD HARY KUSUMA

NRP. 2115105013

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Suwarno, ST, MSc, PhD. (Pembimbing)
NIP. 198005202005011003
2. Wahyu Wijanarko ST, MSc (Penguji I)
NIP. 198202092012121001
3. Indra Sidharta, ST, MSc. (Penguji II)
NIP. 198006192006041004
4. Ir. Hari Subiyanto, MSc. (Penguji III)
NIP. 196006231988031002

SURABAYA

JULI, 2017



**STUDI PENGARUH WAKTU PENAHANAN
QUENCHING-PARTITIONING TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI
51B60 DAN BAJA AISI 9260 BEKAS**

Nama Mahasiswa : Muhammad Hary Kusuma
NRP : 2115105013
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Suwarno S.T.,M.Sc.,Ph.D

Abstrak

Baja bekas pegas daun dimanfaatkan pande besi sebagai bahan baku membuat pisau dapur. Kualitas pisau dapur ditentukan oleh sifat mekaniknya yaitu kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus, dan sifat tahan korosi. Pada proses sepuh (hardening) pande besi mampu mencapai kekerasan pisau dapur hingga 58-63 HRC. Namun pisau dapur dapat mengalami retak bahkan patah ketika terjatuh, sehingga ketangguhan dari pisau dapur harus ditingkatkan untuk menghindari hal tersebut. Salah satu cara meningkatkan ketangguhan dengan perlakuan panas yaitu quench-partitioning. Proses quench-partitioning bertujuan mengurangi kelarutan karbon dalam martensite dan memperkaya kandungan karbon dalam retained austenite sehingga retained austenite lebih stabil ketika baja didinginkan hingga mencapai temperatur kamar. Kandungan karbon yang meningkat pada retained austenite ini mengakibatkan meningkatnya kekuatan dan kekerasan baja tetapi masih memiliki keuletan yang tinggi.

Proses perlakuan panas quenching-partitioning dilakukan pada baja AISI 51B60 dan AISI 9260 dengan pemanasan dalam dapur sampai temperatur austenisasi 840 °C dengan waktu tahan 1 jam. Proses dilanjutkan dengan quenching ke dalam oli selama 6 detik hingga mencapai temperatur 180 °C lalu di-partitioning dalam furnace berisi campuran NaNO_3 , KNO_3 , dan NaNO_2 pada temperatur partitioning 215 °C, dengan variasi waktu penahanan 500 detik, 1000 detik, 1750 detik, 2500 detik, dan 3600 detik kemudian di-quenching ke dalam air.

Spesimen yang telah diberi perlakuan panas akan diuji untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sifat mekanik dan struktur mikro. Uji tersebut meliputi uji kekerasan, uji impak, dan metalografi.

Dari penelitian didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu tahan quenching-partitioning maka nilai kekerasan semakin turun, tetapi nilai impact strength semakin naik. Nilai kekerasan dan impact strength tertinggi yaitu 58,8 HRC dan 0,098 J/mm² untuk baja AISI 51B60 sedangkan nilai kekerasan dan impact strength tertinggi untuk baja AISI 9260 yaitu 59,6 HRC dan 0,061 J/mm². Struktur mikro baja AISI 51B60 dan AISI 9260 hasil quenching-partitioning yaitu tempered martensite dan retained austenite.

Kata Kunci : quenching-partitioning, AISI 51B60, AISI 9260, baja pegas, pisau dapur

EFFECT OF QUENCHING-PARTITIONING TIME ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF AISI 51B60 AND AISI 9260 SCRAP-STEELS

Name : Muhammad Hary Kusuma
NRP : 2115105013
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisory Lecture : Suwarno, S.T.,M.Sc.,Ph.D

Abstract

The scrap leaf spring steels are commonly used for the manufacture of kitchen knife. The knife must have high hardness, great toughness, wear-resistant and corrosion-resistant. The scrap leaf spring steels can reach the hardness value between 58 – 63 HRC after hardening process. Sometimes the high hardness make a fracture of material when it's dropped, so the kitchen knife should have a great toughness to avoid a fracture. A great toughness of kitchen knife can be obtained from the quenching-partitioning. The quenching-partitioning is designed to enrich the remaining untransformed austenite with carbon, escaping from the supersaturated martensite phase, thereby stabilizing retained austenite phase to room temperature. Containing carbon in retained austenite effects on increasing strength and hardness steel but still good ductility.

This research is initiated by heating AISI 51B60 and AISI 9260 scrap steel at an austenization temperature of 840 °C with a holding time 1 hour, then quenching with an oil media for 6 seconds at a temperature 180 °C. After quenching, partitioning is continued in salt bath containing NaNO_3 , KNO_3 , and NaNO_2 at a temperature of 215 °C and the variations of partitioning time are 500 seconds, 1000 seconds, 1750 seconds, 2500 seconds, and 3600 seconds with water cooling. Hardness test, impact test, and microstructure observation are the testing method used in this research.

The result of this research is showed that the longer partitioning time to achieve greater toughness by decreasing the hardness of the materials. The highest hardness value and impact strength of AISI 51B60 scrap-steel are 58,8 HRC and 0,098 J/mm² while the highest hardness value and impact strength of AISI 9260 scrap-steel are 59,6 HRC dan 0,061 J/mm². The microstructures of AISI 51B60 and AISI 9260 scrap-steels after quenching-partitioning process are tempered martensite and retained austenite.

Keywords : quenching-partitioning, AISI 51B60, AISI 9260, Leaf spring steel, kitchen knife

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT, maka Tugas Akhir dengan judul “ **Studi Pengaruh Waktu Penahanan *Quenching-Partitioning* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja AISI 51B60 Dan Baja AISI 9260 Bekas** ” telah selesai disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin – Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penyusunan ini tidak akan berhasil apabila tanpa ada bimbingan, bantuan, dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta (**Tugiman dan Salbiyah**) yang selalu memberi restu, nasihat, do’a dan dukungan.
2. Bapak **Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D**, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberi pengarahan serta bimbingan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Ir. Hari Subiyanto, M.Sc., Indra Sidharta, S.T., M.Sc., Wahyu Wijanarko, S.T, M.Sc.**, selaku dosen penguji yang banyak memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.,Eng, Ph.D.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Bapak **Dr. Bambang Sudarmanta, S.T., M.T.**, selaku dosen wali.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen S-1 Teknik Mesin FTI-ITS yang telah membimbing penulis selama duduk di bangku perkuliahan.
7. **Pak Mantri, Pak Endang, Pak Gatot, Pak Budi dan Mas Agus, Mas Jeni, Pak Dani** atas bantuan yang telah diberikan.

8. **Teman-teman lintas jalur angkatan 2015**, terima kasih atas do'a dan dukungannya, semoga persahabatan dan kebersamaan kita tetap utuh selamanya.
9. **Dhio, Mustofa, Merza, Alam, Titis, Ciska, Mas Rifki, Bang Taqi, Naufal, Wanda**, terima kasih atas do'a dan dukungannya.
10. Teman-teman laboratorium metalurgi, **Mas Faisal, Mbak Eka, Ridha, Mada, Shofia, Anggita, Yuko, Oxi, Khisni, Hafid**, terima kasih atas segala banyak bantuannya.
11. **Adyan Rizky Akbar** sebagai *partner* tugas akhir atas bantuan dan kerjasamanya.
12. Teruntuk yang teristimewa adinda **Ratri Risky Utami** yang selalu membakar api semangat penulis, terima kasih untuk segalanya.

Penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna di dunia ini, demikian juga dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua, Aamiin.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak	iv
Abstract	vi
Kata Pengantar.....	viii
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja Karbon.....	5
2.1.2 Baja Paduan.....	6
2.2 Baja Pegas	6
2.2.1 Baja Pegas Daun.....	7
2.2.2 I-T Diagram Baja Pegas Daun (AISI 51B60 dan AISI 9260).....	8
2.3 Perlakuan Panas.....	11
2.4 <i>Hardening</i>	11
2.5 Proses <i>Quenching</i> dan <i>Partitioning</i>	15
2.6 Kekerasan	18
2.7 Ketangguhan.....	19
2.8 Uji Statistik.....	21
2.9 Studi yang Pernah Dilakukan Sebelumnya.....	22

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 Material.....	31

3.3 Proses Perlakuan Panas <i>Quenching-Partitioning</i>	33
3.4 Pengujian	37
3.4.1 Pengujian Kekerasan	37
3.4.2 Pengamatan Struktur Mikro	39
3.4.3 Pengujian Impak	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Komposisi Kimia	43
4.2 Pengujian Kekerasan	44
4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan	44
4.2.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Kekerasan	46
4.3 Pengujian Impak	51
4.3.1 Data Hasil Pengujian Impak	53
4.3.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Impak	55
4.4 Pengamatan Struktur Mikro	59
4.4.1 Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro	59
4.4.2 Analisis dan Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN 1	71
LAMPIRAN 2	72
BIOGRAFI	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja Pegas Daun	7
Gambar 2.2 Diagram IT 51B60.....	9
Gambar 2.3 Diagram IT 9260.....	10
Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe – Fe ₃ C	12
Gambar 2.5 Daerah temperatur <i>quenching</i>	13
Gambar 2.6 Perbedaan kurva pendinginan air dan oli.....	14
Gambar 2.7 Pengaruh kadar karbon terhadap pembentukan martensit	15
Gambar 2.8 Proses <i>one step quenching</i> dan <i>partitioning</i>	16
Gambar 2.9 Proses <i>two step quenching</i> dan <i>partitioning</i>	16
Gambar 2.10 Skema pengujian kekerasan.....	19
Gambar 2.11 Pengujian impak metode <i>charpy</i>	20
Gambar 2.12 Spesimen uji impak.....	21
Gambar 2.13 Skema diagram proses <i>quenching</i> dan <i>partitioning</i>	24
Gambar 2.14 Prediksi fraksi retained austenite setelah <i>partitioning</i> fungsi temperatur <i>quenching</i> untuk kadar karbon yang berbeda.....	25
Gambar 2.15 Variasi fraksi <i>retained austenite</i> fungsi temperatur <i>quenching</i> dan temperatur <i>partitioning</i>	26
Gambar 2.16 Variasi fraksi <i>retained austenite</i> fungsi waktu tahan <i>partitioning</i>	26
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.2 Baja AISI 51B60 dan Baja AISI 9260.....	32
Gambar 3.3 Skema perlakuan panas untuk <i>quenching</i> dan <i>partitioning</i>	34
Gambar 3.4 Dapur pemanas material (<i>Furnace</i>).....	35
Gambar 3.5 Dapur pemanas (<i>Furnace</i>) berisi oli untuk <i>quenching</i>	35
Gambar 3.6 Dapur pemanas (<i>Furnace</i>) <i>salt bath</i> untuk <i>partitioning</i>	36
Gambar 3.7 Alat uji kekerasan <i>Rockwell C</i>	37

Gambar 3.8 Dimensi dan lokasi indentasi spesimen uji dengan satuan mm.....	38
Gambar 3.9 Mesin <i>grinding</i> , <i>polishing</i> dan mikroskop optik.....	39
Gambar 3.10 Alat uji impak	40
Gambar 3.11 Dimensi standar uji impak JIS Z 2202	41
Gambar 4.1 Spesimen dan lokasi indentasi di permukaan	44
Gambar 4.2 Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi AISI 51B60.....	46
Gambar 4.3 Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi AISI 9260.....	47
Gambar 4.4 Grafik rerata kekerasan material AISI 51B60 dan AISI 9260.....	49
Gambar 4.5 Spesimen uji impak	52
Gambar 4.6 Dimensi uji impak	52
Gambar 4.7 Grafik <i>impact strength</i>	54
Gambar 4.8 Lokasi pengamatan struktur mikro (garis putus-putus merah).....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja Pegas Daun.....	8
Tabel 2.2 Temperatur Austenite untuk Baja dan Paduan	10
Tabel 2.3 Skala Rockwell Hardness	19
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Material 1 dan Material 2	32
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja Bekas Pegas Daun	
Dari Hasil Uji Material 1.....	43
Tabel 4.2 Komposisi Kimia Baja Bekas Pegas Daun	
Dari Hasil Uji Material 2	43
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan	
Spesimen Material 1	45
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan	
Spesimen Material 2	45
Tabel 4.5 Kisaran dan Rerata Kekerasan Spesimen	48
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Impak Material AISI 51B60.....	53
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Impak Material AISI 9260	54
Tabel 4.8 Pola Patahan Hasil Pengujian Impak	
Material AISI 51B60	55
Tabel 4.9 Pola Patahan Hasil Pengujian Impak	
Material AISI 9260.....	57
Tabel 4.10 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada	
Penampang Spesimen AISI 51B60.....	59
Tabel 4.11 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada	
Penampang Spesimen AISI 51B60.....	62

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah adalah masalah yang sering ditemukan di negara berkembang. Indonesia merupakan negara berkembang dengan tingkat limbah yang tinggi. Salah satunya limbah logam yang berasal dari kendaraan sehingga dibutuhkan tindakan untuk mendaur ulang sehingga menjadi produk yang mempunyai nilai tambah. Pande besi memanfaatkan baja pegas daun sebagai bahan baku untuk membuat alat potong (pisau, kampak), alat pertanian (cangkul, celurit), dan alat bangunan (linggis, cetok). Baja AISI 51B60 dan AISI 9260 merupakan material yang sering digunakan pande besi untuk membuat pisau dapur.

Kualitas pisau dapur ditentukan oleh sifat mekaniknya yaitu kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus dan ketahanan korosi. Pada proses sepuh (*hardening*) dilakukan oleh pande besi, kekerasan yang dihasilkan dapat mencapai 58-63 HRC. Namun pisau dapur dapat mengalami retak bahkan patah ketika terjatuh, sehingga ketangguhan dari pisau dapur harus ditingkatkan untuk menghindari hal tersebut. Salah satu cara meningkatkan ketangguhan dengan perlakuan panas yaitu *quench-partitioning*.

Proses *quench-partitioning* bertujuan mengurangi kelarutan karbon dalam *martensite* dan memperkaya kandungan karbon dalam *retained austenite* sehingga *retained austenite* lebih stabil ketika baja didinginkan hingga mencapai temperatur kamar. Kandungan karbon yang meningkat pada *retained austenite* ini mengakibatkan meningkatnya kekuatan dan kekerasan baja tetapi masih memiliki keuletan yang tinggi.

Pada penelitian ini, diharapkan supaya baja AISI 51B60 dan AISI 9260 mengalami peningkatan ketangguhan setelah dilakukan perlakuan panas.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dibahas permasalahan meliputi :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu penahanan *partitioning* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro yang terbentuk dari baja AISI 51B60 dan AISI 9260.

1.3. Batasan Masalah

1. Komposisi material awal dianggap homogen.
2. Tidak terdapat cacat dalam maupun retak spesimen uji.
3. Pengaruh lingkungan tidak terlalu signifikan terhadap pengujian.
4. Proses *quenching* dan *partitioning* sempurna dan merata di seluruh spesimen uji.
5. Waktu pemindahan spesimen uji dari dapur pemanas ke media pendingin setiap tahapan proses adalah sama untuk setiap spesimen uji.
6. Kondisi peralatan yang digunakan saat pengujian dan pengambilan data telah terkalibrasi.
7. Proses pembuatan pisau pande besi tidak dibahas.

1.4. Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu penahanan *partitioning* terhadap sifat mekanik yang terbentuk dari baja AISI 51B60 dan AISI 9260.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengaplikasikan teori perlakuan panas tentang pengaruh variasi waktu penahanan *partitioning* pada pisau dapur dari baja AISI 51B60 dan AISI 9260 bekas.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut :

1. Bab 1 Pendahuluan
Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan penelitian.
2. Bab 2 Tinjauan Pustaka
Bab ini dibagi menjadi dua bagian yaitu kajian teori dan studi hasil penelitian terkait yang telah dilakukan. Kajian teori berisi tentang teori penunjang dalam melakukan analisis hasil penelitian. Sedangkan studi hasil penelitian terkait menunjang dalam melakukan penelitian dan analisis data.
3. Bab 3 Metodologi Penelitian
Bab ini berisi tentang uraian dan urutan proses pengerjaan penelitian dari awal sampai akhir, serta peralatan dan bahan penelitian yang digunakan.
4. Bab 4 Analisis Data dan Pembahasan
Bab ini berisi data hasil penelitian yang disajikan dalam bentuk grafik dan tabel sebagai sarana untuk menganalisis fenomena yang terjadi.
5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran
Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan di bumi. Baja memiliki penyusun utama Fe dan unsur paduan utama karbon (C) dengan kadar tidak lebih dari 2,11% wt [1]. Keunggulan baja dibanding material lain adalah jumlah bahan bakunya yang melimpah di alam serta proses ekstraksi dan pengolahan yang tergolong murah dan mudah. Selain harganya murah, baja juga memiliki sifat mekanik yang baik untuk berbagai macam aplikasi. Baja dapat diberi perlakuan panas untuk mengubah sifat mekanisnya.

Berdasarkan komposisi kimianya, baja dibagi menjadi dua yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*) yaitu baja yang memiliki paduan lain selain karbon pada komposisinya.

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja dengan paduan utama karbon dan sedikit unsur yang lain. Berdasarkan jumlah kadar karbon yang menyusun, Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah dengan jumlah kadar karbon maksimal 0,25 % , baja karbon menengah dengan jumlah kadar karbon 0,25% - 0,6% dan baja karbon tinggi dengan jumlah kadar karbon lebih dari 0.6% [2]. Baja karbon banyak digunakan dalam bidang konstruksi tergantung jenis baja karbon yang digunakan. Baja karbon rendah memiliki sifat mekanik paling dominan yaitu keuletan, baja karbon rendah dapat dilakukan pemesinan, dan pengelasan. Baja ini sangat murah dibandingkan dengan baja karbon yang lain. Aplikasi baja ini antara lain digunakan pada komponen mobil, konstruksi bangunan, saluran perpipaan, dan produk kemasan kaleng tipis. Baja karbon menengah memiliki sifat mekanik kekuatan dan keuletan yang seimbang, serta ketahanan aus yang baik, baja karbon menengah dapat dilakukan proses austenisasi,

quenching, dan *tempering* untuk meningkatkan sifat mekanik baja. Aplikasi baja ini antara lain digunakan untuk roda kereta, *crankshaft*, dan elemen mesin lainnya yang membutuhkan kombinasi kekuatan yang baik, ketahanan aus, dan ketangguhan. Baja karbon tinggi memiliki sifat mekanik kekuatan dan kekerasan yang paling baik, dan sedikit keuletan, baja karbon sebagian besar digunakan sebagai *tool steel*, alat-alat potong, *dies*, pisau, mata gergaji, dan pegas.

2.1.2 Baja Paduan

Baja paduan adalah baja dengan dengan unsur paduan lebih dari satu jenis yang ditambahkan, untuk memodifikasi sifat – sifat mekanik dari baja tersebut. Tujuan dilakukan penambahan unsur paduan antara lain menaikkan *hardenability*, meningkatkan ketangguhan, meningkatkan ketahanan aus dan meningkatkan ketahanan korosi. Baja paduan diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan jumlah kadar penyusun paduan. Baja paduan dengan kadar unsur penyusun paduan kurang dari 10% disebut dengan baja paduan rendah (*low alloy steel*), sedangkan kadar unsur paduan lebih dari 10% disebut baja paduan tinggi (*high alloy steel*) [1].

2.2 Baja Pegas

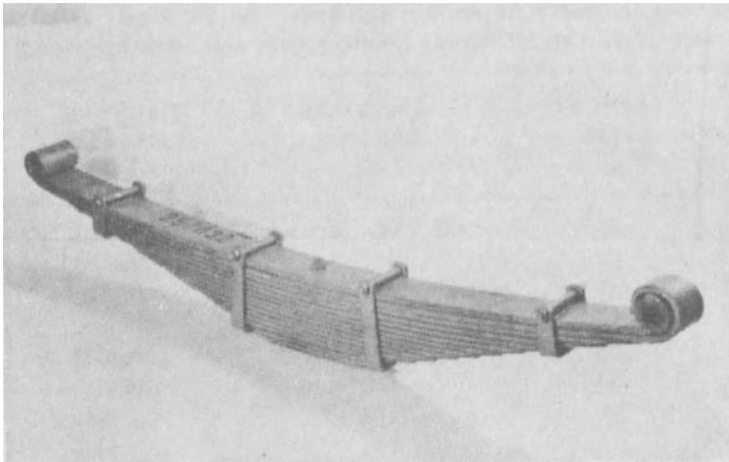
Baja pegas adalah baja karbon tinggi yang biasa digunakan oleh pabrik pembuat pegas dan pembuat komponen-komponen kendaraan yang digunakan untuk menerima beban statik dan dinamik [3]. Pembuatan baja pegas harus melewati berapa proses, salah satunya adalah proses *heat treatment*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk memberikan sifat mekanik yang diinginkan seperti kekuatan tarik, ketangguhan, keuletan dan kekerasan untuk dijadikan baja pegas.

Baja pegas dalam penggunaannya terdiri dari baja pegas koil kadar karbon tinggi, baja kadar karbon tinggi dalam bentuk plat, baja pegas paduan, baja pegas *stainless steel*, baja pegas

paduan tembaga, baja pegas paduan nikel dan baja pegas paduan dasar nikel dengan modulus elastisitas konstan.

2.2.1 Baja Pegas Daun

Baja pegas daun merupakan baja kadar karbon tinggi dalam bentuk plat yang paling banyak digunakan pada beberapa jenis kendaraan. Gambar 2.1 adalah contoh gambar baja pegas daun.



Gambar 2.1 Baja pegas daun [6]

Baja pegas-daun AISI 51B60 dan AISI 9260 memiliki kandungan karbon antara 0,56% sampai 0,64% dan harga kekerasan *rockwell* antara 58 HRC sampai dari 63 HRC ketika di *quenching*. Komposisi kimia dari baja pegas-daun AISI 51B60 dan AISI 9260 dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja Pegas Daun [4]

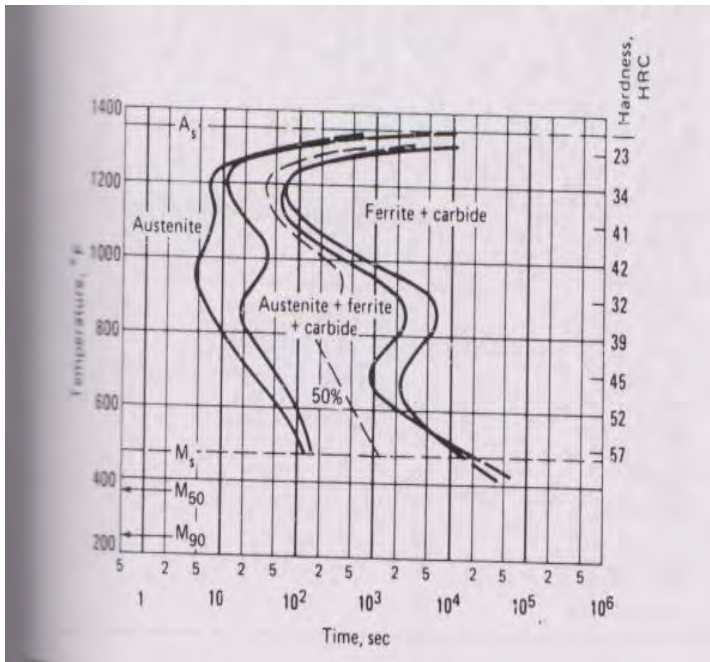
UNS No.	SAE No.	Ladle Chemical Composition Limits, % C	Ladle Chemical Composition Limits, % Mn	Ladle Chemical Composition Limits, % P	Ladle Chemical Composition Limits, % S	Ladle Chemical Composition Limits, % Si	Ladle Chemical Composition Limits, % Ni	Ladle Chemical Composition Limits, % Cr	Ladle Chemical Composition Limits, % Mo	Ladle Chemical Composition Limits, % V
G43400	4340	0.38–0.43	0.60–0.80	0.030	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30	—
G43406	E4340 ⁽²⁾	0.38–0.43	0.65–0.85	0.025	0.025	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30	—
G46150	4615	0.13–0.18	0.45–0.65	0.030	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	—	0.20–0.30	—
G46170	4617	0.16–0.21	0.40–0.65	0.030	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	—	0.20–0.30	—
G46200	4620	0.17–0.22	0.45–0.65	0.030	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	—	0.20–0.30	—
G48200	4820	0.18–0.23	0.50–0.70	0.030	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	—	0.20–0.30	—
G50461	50B46 ⁽³⁾	0.44–0.49	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	0.20–0.35	—	—	—
G51150	5115	0.13–0.18	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.70–0.90	—	—
G51200	5120	0.17–0.22	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.70–0.90	—	—
G51300	5130	0.28–0.33	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.80–1.10	—	—
G51320	5132	0.30–0.35	0.60–0.80	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.75–1.00	—	—
G51400	5140	0.38–0.43	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.70–0.90	—	—
G51500	5150	0.48–0.53	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.70–0.90	—	—
G51600	5160	0.56–0.64	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.70–0.90	—	—
G51601	51B60 ⁽³⁾	0.56–0.64	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.70–0.90	—	—
G52986	E52100 ⁽²⁾	0.98–1.10	0.25–0.45	0.025	0.025	0.15–0.35	—	1.30–1.60	—	—
G61500	6150	0.48–0.53	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	—	0.80–1.10	—	0.15 min
G86150	8615	0.16–0.18	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86170	8617	0.15–0.20	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86200	8620	0.18–0.23	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86220	8622	0.20–0.25	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86250	8625	0.23–0.28	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86270	8627	0.25–0.30	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86300	8630	0.28–0.33	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86370	8637	0.38–0.43	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86400	8640	0.38–0.43	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86450	8645	0.43–0.48	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G86550	8655	0.51–0.59	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G87200	8720	0.18–0.23	0.70–0.90	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.20–0.30	—
G87420	8740	0.40–0.45	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	—
G88220	8822	0.20–0.25	0.75–1.00	0.030	0.040	0.15–0.35	0.40–0.70	0.40–0.60	0.30–0.40	—
G92540	9254	0.51–0.59	0.60–0.80	0.030	0.040	1.20–1.60	—	0.60–0.80	—	—
G92590	9259	0.56–0.64	0.75–1.00	0.030	0.040	0.70–1.10	—	0.45–0.65	—	—
G92600	9260	0.56–0.64	0.75–1.00	0.030	0.040	1.80–2.20	—	—	—	—

2.2.2 I-T Diagram Baja Pegas-Daun (AISI 51B60 dan AISI 9260)

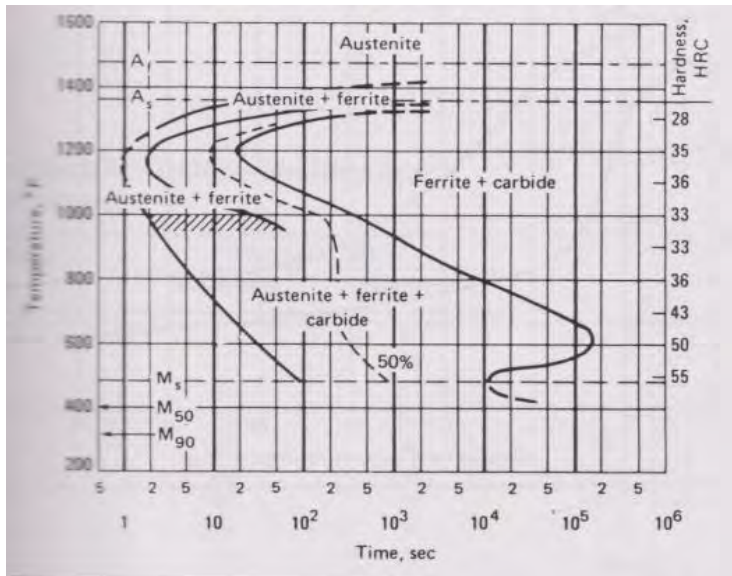
Diagram Transformasi *Isothermal* atau I-T diagram menunjukkan dimulainya transformasi *austenite* sampai penurunan temperatur terhadap fungsi waktu [5]. Gambar 2.2 dan gambar 2.3 merupakan I-T diagram dari baja pegas-daun (AISI 51B60 dan AISI 9260). Berdasarkan *standard* [7], temperatur austenisasi baja pegas-daun (AISI 51B60 dan AISI 9260) adalah 800–845 °C dan 815–900 °C (tabel 2.2). Pendinginan yang sangat lambat akan menghasilkan *coarse pearlite*/ perlit kasar, untuk pendinginan yang lebih cepat akan menghasilkan *fine pearlit*/

perlit halus. Pendinginan yang sangat cepat menghasilkan struktur sangat keras dan getas yang disebut *martensite*. Temperatur M_s (*martensite start*) baja pegas daun (AISI 51B60 dan AISI 9260) adalah 262°C dan 267°C . [7]. Secara kuantitatif, temperatur M_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$M_s(^{\circ}\text{C}) = 512 - 453\text{C} - 16.9\text{Ni} + 15\text{Cr} - 9.5\text{Mo} + 217(\text{C})^2 - 71.5(\text{C})(\text{Mn}) - 67.6(\text{C})(\text{Cr}) \quad [7]$$



Gambar 2.2 Diagram IT pada baja AISI 51B60 [8]



Gambar 2.3 Diagram IT pada baja AISI 9260 [8]

Tabel 2.2 Temperatur Austenite untuk Baja dan Paduan [7]

Steel	Temperature	
	°C	°F
51B60	800-845	1475-1550
9260	815-900	1500-1650

Struktur *martensite* bisa diperoleh apabila mencapai temperatur *martensite start* (M_s) dan selesai bertansformasi pada *martensite finish* (M_f). Ketika pendinginan berlangsung sangat cepat (tidak ada fungsi waktu), sehingga *austenite* berada pada temperatur di bawah M_s , maka setelah terjadi pergeseran sejumlah atom yang mengubah FCC (*face centered cubic*) menjadi BCC (*body centered cubic*) tidak lagi terjadi proses difusi. Atom karbon yang seharusnya keluar dari larutan akan terperangkap dalam struktur baru karena atom karbon tidak

mempunyai energi untuk berdiffusi akibat temperatur yang sudah terlalu rendah. Akibatnya, struktur baru tersebut terdistorsi tidak menjadi BCC tetapi menjadi BCT (*body centered tetragonal*) yang disebut sebagai *martensite*. Karena pendinginan yang sangat cepat, sehingga struktur FCC berubah menjadi BCT dan adanya tegangan sisa yang sangat besar akibat karbon yang terperangkap, menjadikan martensit memiliki kekerasan yang sangat tinggi tetapi getas (*brittle*) [5].

2.3 Perlakuan Panas

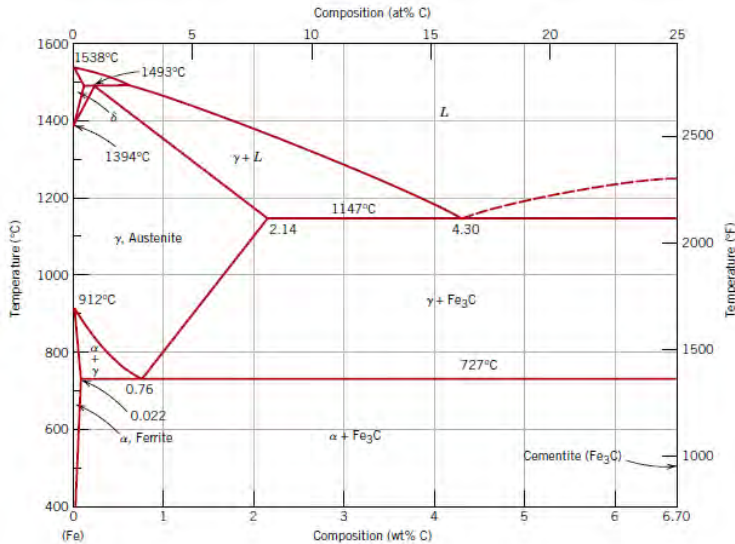
Proses perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dalam waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat mekanik tertentu. Dasar proses perlakuan panas untuk baja adalah mengubah atau mendekomposisi *austenite* menjadi *pearlite*, *bainite*, dan *martensite* [5].

Proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua, pertama yakni proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur mikro yang ekuilibrium, seperti *annealing*, *normalizing*, dan *spheroidizing*, kedua yaitu proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur *non-ekuilibrium*, seperti *quenching*, *martempering*, dan *austempering*. Perbedaan kedua perlakuan panas tersebut, secara proses, adalah tinggi temperatur pemanasan, lama temperatur penahanan (*holding time*), dan kecepatan pendinginannya dari logam [6]. Sifat logam yang dihasilkan dari perlakuan panas ekuilibrium adalah ketangguhan dan keuletan yang tinggi, sedangkan sifat logam yang dihasilkan dari perlakuan panas *non-ekuilibrium* adalah kekerasan dan kekuatan yang tinggi, namun keuletan rendah.

2.4 Hardening

Hardening adalah proses pengerasan baja dengan cara melakukan perlakuan panas untuk membentuk struktur *martensite* [5]. Proses *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur *austenite*, ditahan beberapa saat (*holding time*) pada

temperatur tersebut dengan tujuan menghomogenkan *austenite*-nya, lalu didinginkan cepat (*quenching*) ke dalam suatu media pendingin.

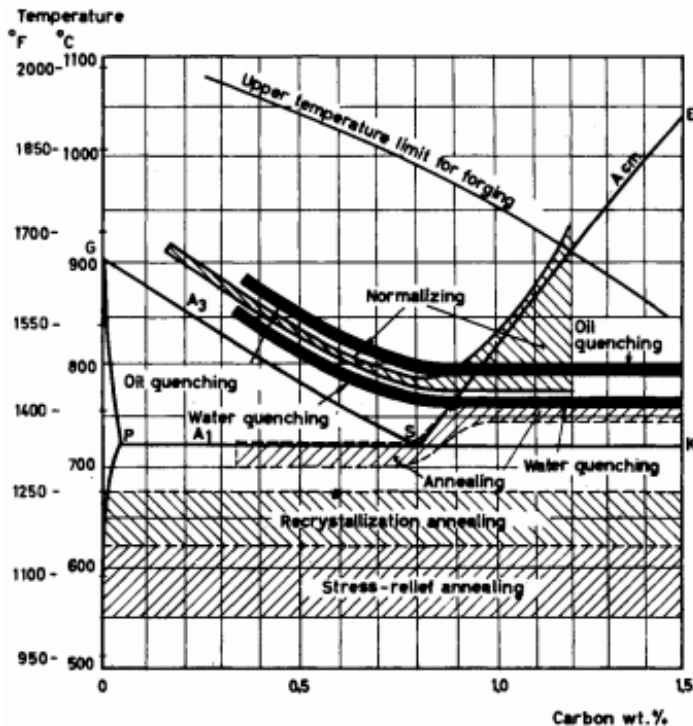


Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe – Fe₃C [2]

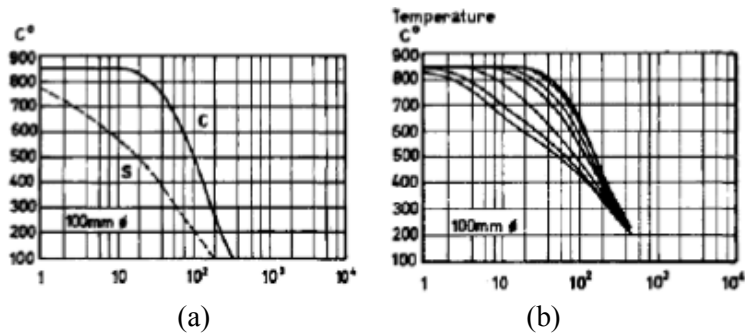
Laju pendinginan harus mencapai laju pendinginan kritis (*critical rate*) untuk memperoleh struktur yang sepenuhnya *martensite* [5]. Laju pendinginan yang kurang dari CCR akan mengakibatkan adanya sebagian *austenite* yang tidak bertransformasi menjadi *martensite* tetapi menjadi struktur lain, sehingga kekerasan maksimum tidak akan tercapai. Fase *martensite* tidak terdapat pada diagram Fe-Fe₃C (gambar 2.4) karena *martensite* merupakan fase yang metastabil atau akan bertransformasi menjadi fase lain ketika diberi energi. Hal ini disebabkan oleh pembentukan fase *martensite* yang tidak melalui mekanisme difusi, dan karenanya fase *martensite* merupakan fase yang unik dari baja [15]. Daerah temperatur *quenching* dapat dilihat pada gambar 2.5. Dari gambar 2.5 dijelaskan bahwa untuk baja karbon rendah (*low carbon steel*) dilakukan pendinginan

dengan air. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*) menggunakan oli (*oil*) sebagai media pendingin [6].

Baja pegas daun (AISI 51B60 dan AISI 9260) termasuk baja paduan rendah, sehingga digunakan oli sebagai media pendinginnya. Oli mempunyai kapasitas pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan air, dijelaskan pada gambar 2.6. Jenis oli yang mudah dan murah biasanya digunakan *mineral oil* dengan viskositas yang rendah.



Gambar 2.5 Daerah temperatur *quenching* [6]

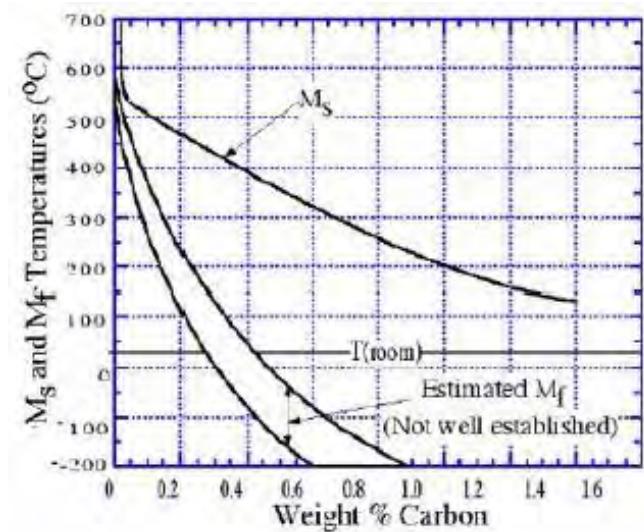


Gambar 2.6 Perbedaan kurva pendinginan

(a) pendingin air ; (b) pendingin oli [2]

Pada saat baja bertemperatur tinggi dicelup ke dalam oli yang memiliki temperatur kamar, maka oli di sekitar permukaan spesimen bisa menjadi uap. Uap akan menghambat perpindahan panas spesimen ke media pendingin jika tidak segera lepas dari permukaan. Waktu terlepasnya uap antara satu titik permukaan dengan titik yang lain tidak sama, sehingga laju pendinginan berbeda dan mengakibatkan kekerasan tidak merata [5].

Kekerasan martensit tergantung kadar karbon, semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan martensit akan semakin tinggi. Namun semakin tinggi kadar karbon *martensite start* (Ms) dan *martensite finish* (Mf) akan semakin turun seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7, sehingga pada temperatur kamar akan menghasilkan austenit sisa (*retained austenite*) yang akan mengurangi kekerasan martensit. Austenit sisa terbentuk karena pada saat pendinginan selesai pada temperatur kamar, ada austenite yang belum selesai bertransformasi menjadi martensit.



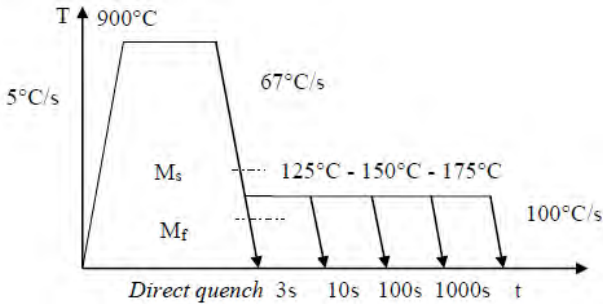
Gambar 2.7 Pengaruh kadar karbon terhadap pembentukan martensit

2.5 Proses *Quenching* dan *Partitioning*

Proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* mengandung dua tahap, yaitu yang pertama proses *quenching* yang dilanjutkan dengan proses *partitioning*. Proses *quenching* dan *partitioning* merupakan proses perlakuan panas yang baru dikembangkan dengan tujuan untuk memperbanyak fraksi *retained austenite* yang terbentuk serta memperkaya kandungan karbon di dalam *retained austenite*. *Retained austenite* memiliki ketangguhan yang lebih baik dibandingkan *tempered martensite*, sehingga dengan memperbanyak fraksi fase *retained austenite* akan meningkatkan ketangguhan dari baja.

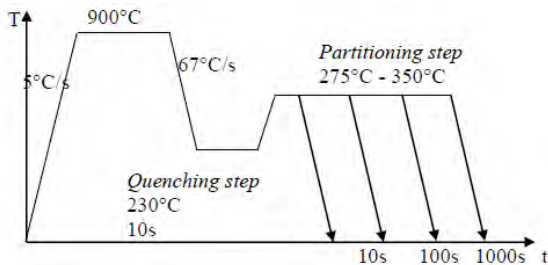
Proses *quenching* dan *partitioning* terbagi ke dalam dua jenis yaitu *one step quenching* dan *two step quenching* dan *partitioning*. *One step quenching* dan *partitioning* adalah proses pendinginan cepat hingga temperatur di antara M_s dan M_f kemudian dilakukan proses penahanan pada temperatur tersebut

hingga beberapa saat. Skema *one step quenching* dan *partitioning* dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Proses *one step quenching* dan *partitioning* [9]

Proses *two step quenching* dan *partitioning* adalah proses pendinginan pada temperatur antara Ms dan Mf kemudian dipanaskan kembali pada temperatur tertentu di bawah Ms. Skema *two step quenching* dan *partitioning* dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Proses *two step quenching* dan *partitioning* [9]

Dalam proses *quenching* biasanya kelarutan karbon 100% terletak pada *martensite* dan *retained austenite* diabaikan, hal ini disebabkan temperatur yang terlalu rendah untuk jumlah substansial kelarutan karbon yang terjadi setelah pendinginan. Kelarutan karbon proses *quenching* pada daerah *martensite*

dianggap sama dengan pada daerah *retained austenite* sehingga *martensite* menjadi sangat kuat dan getas dan *retained austenite* menjadi ulet dan tingkat kekerasan yang rendah. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 2.13 skema diagram proses *quenching-partitioning*.

Pada proses *partitioning* ini mempunyai tujuan membatasi kelarutan karbon dalam *martensite* dan memperkaya kandungan karbon di dalam *retained austenite* sehingga *retained austenite* menjadi lebih stabil ketika baja didinginkan hingga mencapai temperatur kamar. Kandungan karbon yang meningkat pada *retained austenite* akan menyebabkan peningkatan kekerasan dan kekuatan dari baja tetapi masih memiliki keuletan yang cukup tinggi karena sifat ulet dari *austenite*. Hal ini akan mengurangi perbedaan nilai kekerasan pada daerah *retained austenite* dan *martensite*. Komposisi kimia yang sangat berpengaruh untuk menahan laju kelarutan karbon ke *martensite* adalah silikon dan mangan. Semakin besar persentase kandungan silikon dan mangan maka akan semakin sedikit karbon yang larut dalam *martensite*.

Austenite memiliki keuletan yang baik pada temperatur tinggi. Sifat tersebut dimanfaatkan dalam proses *forming* untuk bentuk peralatan yang rumit. Pada temperatur kamar *austenite* merupakan fasa yang tidak stabil. Pada diagram fasa Fe – Fe₃C, secara ekuilibrium *austenite* akan berubah menjadi *ferrite* dan *cementite* pada temperatur di bawah A1. Hal ini berkebalikan pada baja hasil *quench*, dimana ditemukan *austenite* pada temperatur kamar.

Proses *quench* menyebabkan karbon di dalam *austenite* tidak dapat berdifusi. Fenomena ini menyebabkan proses terbentuknya *martensite*. Proses terbentuknya *martensite* memerlukan tegangan geser untuk membentuk struktur kristalnya. Dimana tegangan geser diperoleh dari proses pendinginan yang cepat. Proses untuk mengubah seluruh *austenite* menjadi *martensite* memerlukan tegangan geser yang sangat besar, dan proses pendinginan yang cepat tidak menyediakan tegangan geser

yang cukup. Hal ini menyebabkan terdapat *austenite* sisa pada struktur mikro baja hasil *quench*. *Austenite* sisa memiliki sifat yang lebih lunak dibandingkan *martensite*.

2.6 Kekerasan

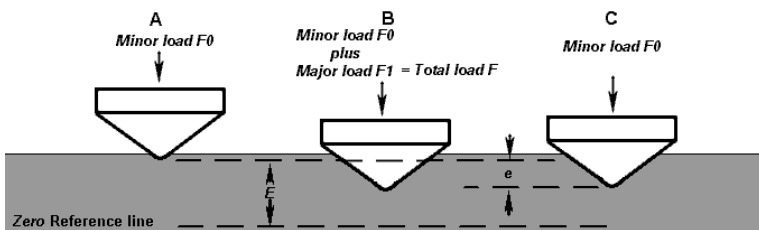
Ketahanan material terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi) dan indentasi merupakan definisi dari kekerasan [14]. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance), tetapi tidak semua material yang memiliki kekerasan tinggi juga memiliki ketahanan aus yang baik karena adanya pengaruh unsur paduan pada masing-masing material. Kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan, tetapi berbanding terbalik dengan keuletan dan ketangguhan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekerasan yaitu kadar karbon, unsur paduan, dan pelakuan panas. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang terstandar untuk menguji kekerasan logam yaitu pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, dan *Microhardness*.

Pada pengujian kekerasan *Rockwell*, angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode *Rockwell* dapat digunakan dua bentuk indenter, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan berbentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, seperti tercantum pada tabel 2.3 pengujian ini banyak dilakukan karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana angka kekerasan spesimen uji dapat dibaca langsung pada dial mesin [13].

Tabel 2.3 Skala Rockwell Hardness [2]

<i>Scale Symbol</i>	<i>Indenter</i>	<i>Major Load (kg)</i>
A	Diamond	60
B	$\frac{1}{16}$ -in. ball	100
C	Diamond	150
D	Diamond	100
E	$\frac{1}{8}$ -in. ball	100
F	$\frac{1}{16}$ -in. ball	60
G	$\frac{1}{16}$ -in. ball	150
H	$\frac{1}{8}$ -in. ball	60
K	$\frac{1}{8}$ -in. ball	150

Secara umum pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan dengan melakukan indenter dengan beban awal 10 kg, jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam, kemudian beban mayor diberikan. Cara kerja ini secara skematik ditunjukkan pada gambar 2.10

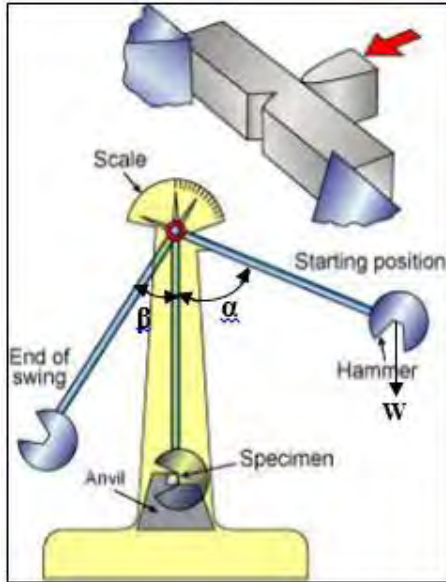
**Gambar 2.10** Skema pengujian kekerasan [13]

2.7 Ketangguhan

Kemampuan menyerap energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan merupakan definisi dari ketangguhan. Tiga faktor utama yang mempengaruhi hasil pengujian impak yaitu tegangan triaxial (bentuk dan dimensi *notch*), temperatur dan laju peregangan (kecepatan pembebanan).

Untuk mengetahui ketangguhan benda jika dikenai beban kejut, maka dapat dilakukan pengujian impak. Pada pengujian

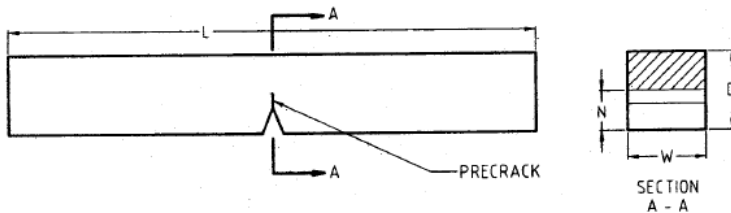
impak digunakan batang uji yang bertakik (*notch*) dan dipukul dengan sebuah bandul. Terdapat dua macam *standard* metode pengujian yang digunakan, yaitu metode *charpy* digunakan di Amerika dan negara-negara lain (gambar 2.11), dan metode *Izod* digunakan di Inggris [14].



Gambar 2.11 Pengujian impak metode *charpy*

Energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dapat langsung dilihat pada mesin uji *impact*. Kekuatan impak (*impact strength*) adalah ketahanan batang uji terhadap pukulan (*impact*) yang dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$IS = \frac{\text{Energi Impak}}{A}$$



Gambar 2.12 Spesimen uji impak *Charpy*

Dimana:

IS : *Impact Strength* (Joule / mm^2)

L = Panjang spesimen (m)

W = Tebal sisa (m)

A = Luasan Patahan (mm^2) = Tebal patahan x tebal sisa = $(D-N) \times (W)$

Luasan patahan ditunjukkan pada area yang diarsir pada gambar 2.12.

2.8 Uji Statistik

Uji statistik pada penelitian ini adalah uji *One Way Anova* faktorial untuk melihat apakah perubahan waktu memiliki pengaruh spesifik terhadap kekerasan.

Pada uji ini, waktu merupakan variabel sedangkan kekerasan merupakan respon. Uji *One Way Anova* faktorial dilakukan untuk mendapatkan *p-value* dari sekelompok data. Selanjutnya nilai *p-value* ini akan dibandingkan dengan nilai α atau *level of significance* untuk mendapatkan hipotesis statistik dari data tersebut bahwa hipotesis diterima atau ditolak [18]. Nilai α didapatkan dari *confidence level*. *Confidence level* yang digunakan pada uji ini adalah sebesar 95%. Sehingga nilai $\alpha = 100\% - 95\% = 5\%$ (0,05). Jika nilai $p > \alpha$ maka hipotesa awal (H_0) diterima. Dan sebaliknya jika $p < \alpha$ maka hipotesa awal (H_0) ditolak.

Terdapat dua hipotesis berbeda pada uji statistik ini, yaitu H_0 menyatakan tidak ada pengaruh perubahan waktu terhadap

data sedangkan H1 menyatakan bahwa minimal terdapat salah satu waktu yang berpengaruh terhadap data.

2.9 Studi yang Pernah Dilakukan Sebelumnya

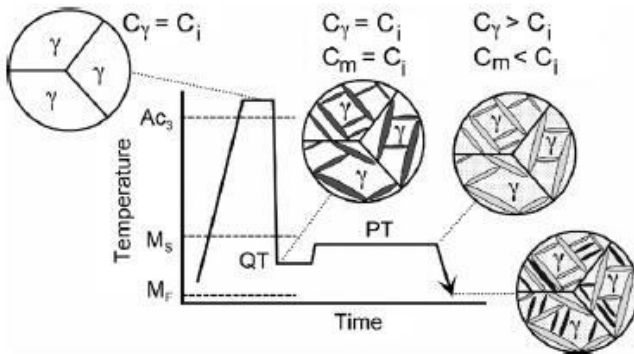
Proses *quenching partitioning* sudah dilakukan oleh beberapa ahli, diantaranya :

1. J. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman dan JG. Schroth pada tahun 2003 dengan judul jurnal *Carbon Partitioning into Austenite After Martensite Transformation*. Dengan hasil penelitian berupa konsentrasi kelarutan karbon dalam *martensite* dan *austenite* pada beberapa baja paduan dengan kadar karbon 0,25%, 0,5%, dan 1% dengan kesimpulan bahwa semakin rendah temperatur *partitioning* maka semakin banyak kandungan karbon dalam *austenite* dan semakin tinggi temperatur *partitioning* semakin tinggi kandungan karbon dalam *martensite* [10].
2. J. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman dan JG. Schroth pada tahun 2005 dengan judul jurnal *The "Quenching and Partitioning" Process: Background and Recent Progress*. Pada penelitian ini dilakukan pada material *grade 9260 bar steel* melakukan variasi temperatur *quenching* dan *partitioning* dan waktu penahan. Kesimpulan pada penelitian ini adalah sangat optimal untuk struktur mikro dan sifat mekanik pada temperatur *quench* 150 °C dan temperatur 220 °C dengan waktu penahanan 3600 detik [11].
3. Khisni Sains pada tahun 2017 dengan judul "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan *Partitioning* pada Proses *Quenching-Partitioning* Baja JIS S45C di Bawah Temperatur *Martensite Start*". Pada penelitian ini dilakukan pada material baja JIS S45C dengan kesimpulan baja JIS S45C yang di-*partitioning* pada temperatur tinggi dengan waktu penahanan singkat setelah di-*quench* hingga temperatur di

antara *martensite start* dan *martensite finish* akan menghasilkan kecenderungan yang sama dengan baja yang di-*partitioning* pada temperatur rendah setelah di-*quench* namun dengan waktu penahanan yang cukup lama [9].

Skema proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* dapat dilihat pada gambar 2.13 [11]. Proses perlakuan panas ini hampir sama dengan proses perlakuan panas *quenching* dan *tempering* hanya saja struktur mikro yang dihasilkan adalah *martensite* dan *retained austenite* setelah didinginkan cepat. Setelah itu baja dipanaskan kembali hingga temperatur *partitioning* dimana karbon akan berdifusi dari *martensite* menuju *retained austenite*.

Proses *partitioning* ini mempunyai tujuan untuk membatasi kelarutan karbon dalam *martensite* dan memperkaya kandungan karbon *retained austenite*. Akibat dari naiknya kadar karbon pada *retained austenite* maka akan menurunkan temperatur *martensite start* (M_s) pada pendinginan selanjutnya sehingga *retained austenite* akan stabil pada temperatur kamar. *Martensite* yang terbentuk setelah *quenching* adalah larutan pada lewat jenuh dari karbon yang terperangkap dalam struktur besi *body-centered tetragonal* (BCT). Struktur ini mempunyai tegangan dalam yang tinggi sehingga kekerasannya akan tinggi pula. Di samping itu *martensite* merupakan struktur yang metastabil, dimana pada pemanasan *partitioning* akan mengeluarkan karbon yang berdifusi menuju *retained austenite*.

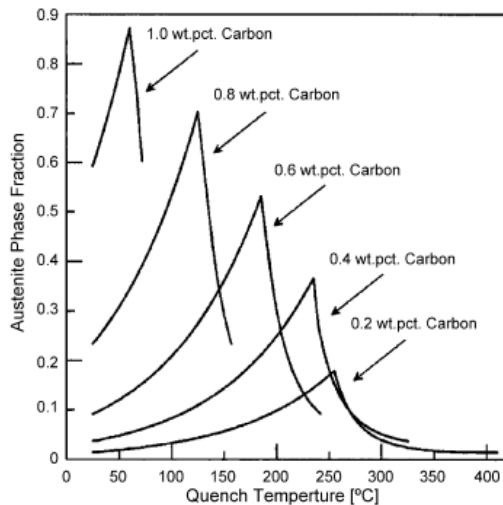


Gambar 2.13 Skema diagram proses *quenching* dan *partitioning* [11]. (C_i menunjukkan kadar karbon awal, C_γ menunjukkan kadar karbon pada *austenite*, dan C_m menunjukkan kadar karbon pada *martensite*. QT adalah temperatur *quenching* dan PT adalah temperatur *partitioning*)

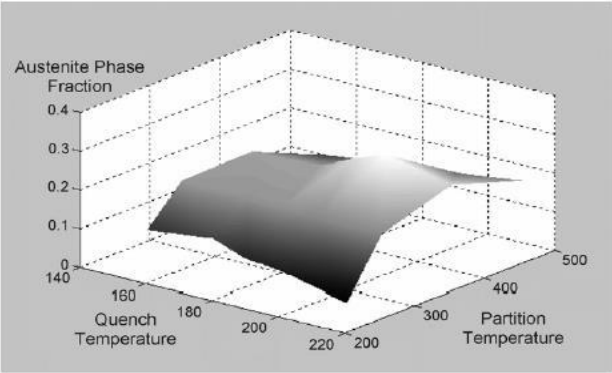
Jumlah relatif *martensite* dan *retained austenite* setelah proses *quenching* dan *partitioning* dapat diprediksi berdasarkan hubungan Koistinen – Marburger [12]. Model pendekatan ini dilakukan dengan mengasumsikan pada temperatur *quenching* karbon yang berdifusi dari *martensite* sepenuhnya menuju *retained austenite* tanpa ada yang membentuk karbida, berbeda dengan *quenching-tempering* yang pada saat *quenching* menghasilkan 100% *martensite* kemudian *tempering* dilakukan untuk menghilangkan tegangan sisa dalam *martensite*, *martensite* berubah menjadi *tempered martensite*.

Gambar 2.14 menunjukkan prediksi jumlah *retained austenite* fungsi temperatur *quenching*, dimana terdapat temperatur *quenching* yang optimal untuk mendapatkan jumlah maksimum *retained austenite*. Jika temperatur *quenching* lebih besar dari temperatur optimal, maka sedikit *martensite* yang terbentuk dan banyak *retained austenite* yang terbentuk tetapi pada saat dilakukan pendinginan dari temperatur *partitioning*, sebagian besar *retained austenite* akan bertransformasi menjadi

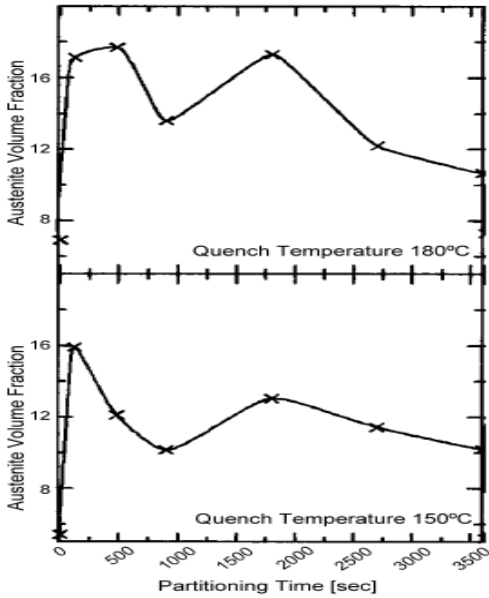
martensite baru. Sedangkan jika temperatur *quenching* lebih kecil dari temperatur optimal maka banyak *martensite* yang terbentuk dan *sedikit retained austenite* yang terbentuk, karena pada saat *partitioning*, *martensite* yang sudah terbentuk tidak dapat bertransformasi menjadi *austenite* sehingga jumlah *austenite* akhir tidak ada perubahan. Gambar 2.14 juga menunjukkan bagaimana model pendekatan ini memprediksi peningkatan jumlah *retained austenite* seiring dengan meningkatnya kadar karbon pada paduan [12].



Gambar 2.14 Prediksi fraksi retained austenite setelah *partitioning* fungsi temperatur *quenching* untuk kadar karbon yang berbeda [12]



Gambar 2.15 Variasi fraksi *retained austenite* fungsi temperatur *quenching* dan temperatur *partitioning* [12]



Gambar 2.16 Variasi fraksi *retained austenite* fungsi waktu tahan *partitioning* [12]

Tidak hanya *quenching* yang memiliki temperatur optimal tetapi *partitioning* juga memiliki temperatur dan waktu tahan optimal untuk menghasilkan fraksi fase *retained austenite* maksimum. Gambar 2.15 variasi fraksi fase *retained austenite* fungsi temperatur *quenching* dan temperatur *partitioning* dan gambar 2.16 variasi fraksi *retained austenite* fungsi waktu tahan *partitioning*.

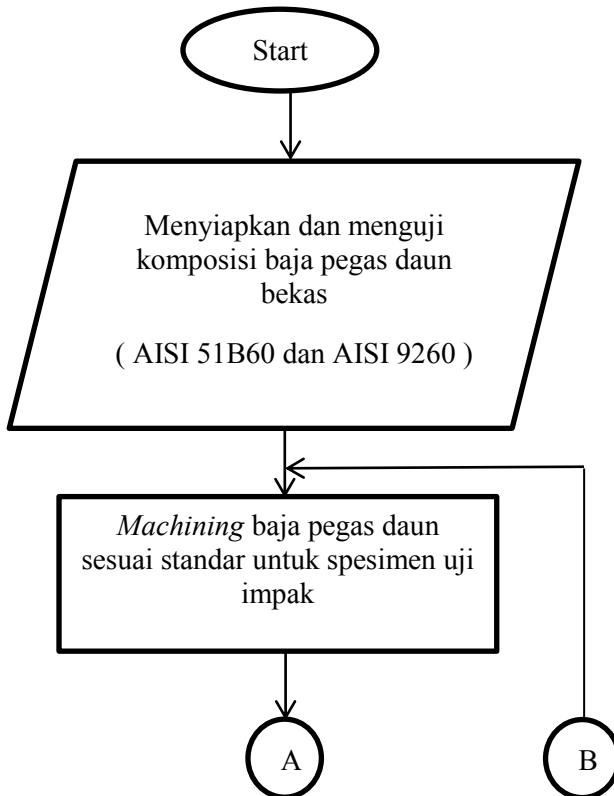
Keluarnya karbon dari *martensite* menuju *retained austenite* selama proses *partitioning* merupakan tahapan kritis dalam proses *quenching* dan *partitioning*, karena kecepatan difusi proses ini harus lebih besar daripada kecepatan pembentukan karbida. Gambar 2.16 menunjukkan efek dari waktu *partitioning* terhadap *retained austenite*. Tingkat kestabilan *austenite* dapat ditunjukkan oleh cepatnya proses yang terjadi dalam waktu singkat. Akan tetapi secara menarik di awal permulaan data ini mengungkapkan kemungkinan terjadi puncak kedua walaupun secara umum menurun seiring bertambahnya waktu *partitioning*. Kesalahan pada perhitungan dari *austenite fraction* dinyatakan 2% sehingga diperlukan investigasi lebih lanjut tetapi penjelasan atas terjadinya puncak kedua di tengah waktu *partitioning* jika tentu merupakan pengaruh nyata, kemungkinan transisi pembentukan karbida pada temperatur rendah. Sepanjang pembentukan sementit ditekan dengan adanya paduan, karbon yang dilepas dari peralihan karbida akan tersedia pada gelombang kedua dari penambahan karbon (sejauh *austenite* sudah kurang stabil) mengarah ke gelombang puncak kedua dari *austenite* yang stabil.

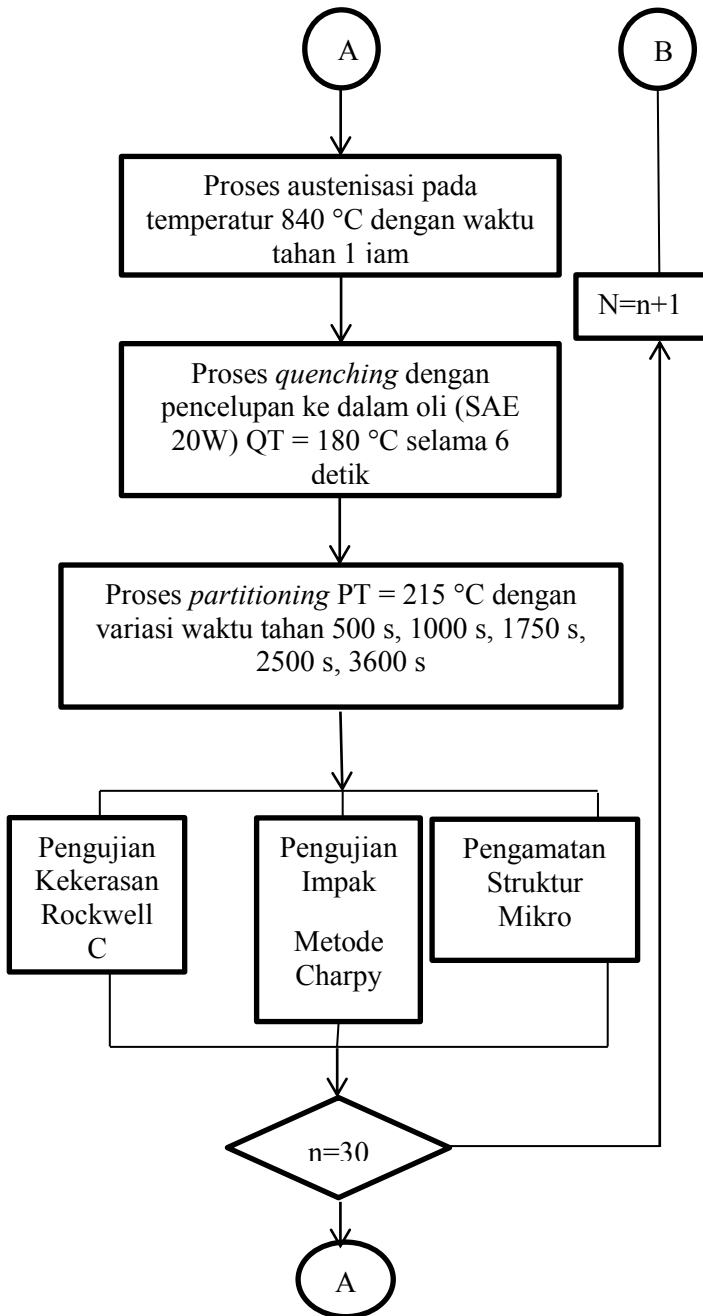
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

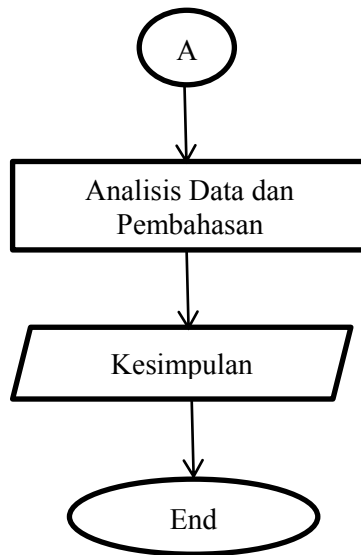
BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan observasi yang dilaksanakan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir (gambar 3. 1) :



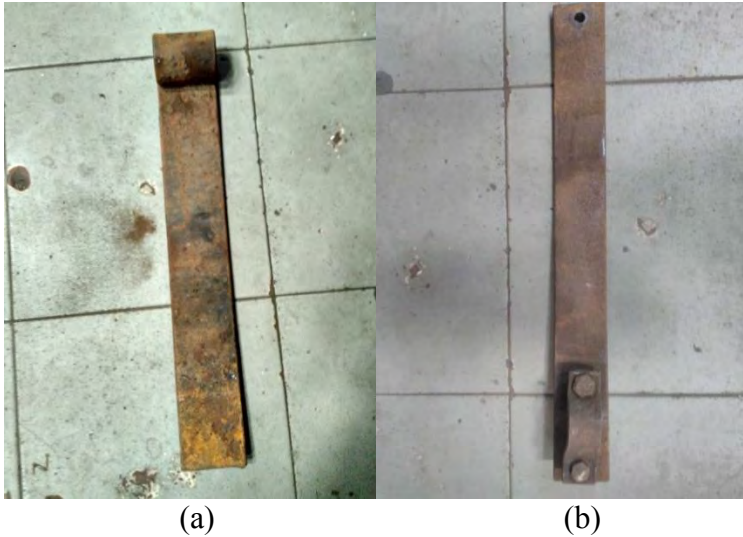




Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Material

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah baja AISI 51B60 (gambar 3.2 a) dan AISI 9260 (gambar 3.2 b) bekas memiliki dimensi masing – masing : panjang 460 mm, lebar 70 mm dan tebal 9 mm, serta panjang 400 mm, lebar 50 mm, dan tebal 6 mm. Pengujian yang dilakukan pada material yaitu pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan, pengujian impak dan pengamatan struktur mikro. Komposisi kimia dari baja AISI 51B60 dan AISI 9260 dapat dilihat pada tabel 3.1.



Gambar 3.2 a Baja AISI 51B60 **(b)** Baja AISI 9260
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Material 1 dan Material 2

Unsur	Material 1 (AISI 51B60) % wt	Material 2 (AISI 9260) % wt
C	0,618	0,612
Si	0,236	1,32
Mn	0,675	0,86
P	0,0168	0,0287
S	0,0194	0,0203
Cr	0,846	0,386
Mo	0,0108	0,0226
V	0,0182	0,002
B	0,0012	0,0022

3.3 Proses Perlakuan Panas *Quenching Partitioning*

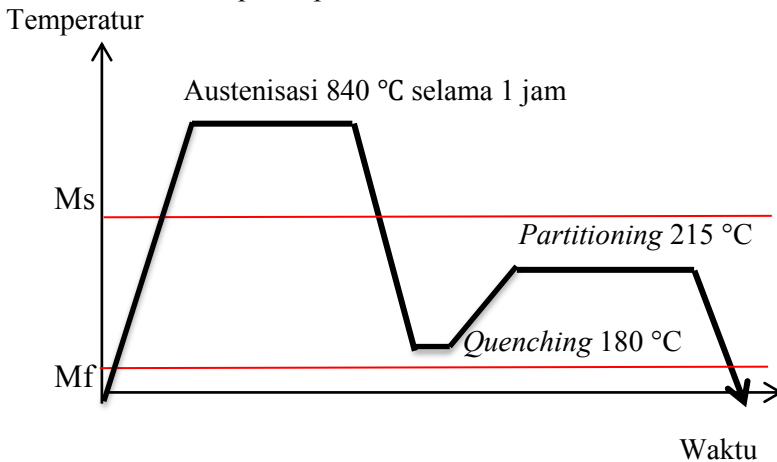
Proses perlakuan panas *quenching partitioning* dimulai dengan pemanasan dalam dapur sampai temperatur austenisasi 840 °C selama 1 jam. Kemudian dilakukan *quenching* pada spesimen dengan media oli. Berikutnya, proses *partitioning* dilakukan di dalam cairan *Salt bath*. *Salt bath* yang digunakan disini merupakan campuran dari KNO₃, NaNO₃, dan NaNO₂ dengan perbandingan komposisi 5 : 1 : 4 [7]. *Quenching* dilakukan pada temperatur 180 °C dengan waktu celup 6 detik. Setelah itu spesimen dicelupkan ke dalam *salt bath* dengan temperatur *partitioning* 215 °C dengan waktu tahan 500 detik, 1000 detik, 1750 detik, 2500 detik, dan 3600 detik. Media pendingin setelah proses *partitioning* adalah air.

Pemilihan temperatur austenisasi dan waktu tahan austenisasi dilakukan berdasarkan standar ASM [7]. Pemilihan temperatur *quenching* (gambar 2.14) dan *partitioning* dilakukan sedemikian rupa untuk mendapatkan variasi dengan fraksi *austenite* maksimum [12]. Pemilihan waktu tahan *quenching* (gambar 2.16) dan pilihan media pendingin setelah proses *partitioning* air didasarkan dari penelitian sebelumnya dengan tujuan agar pendinginan yang dilakukan dapat berjalan dengan cepat [9].

Skema proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* dapat dilihat pada gambar 3.3. Struktur mikro hasil proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* diharapkan adalah *tempered martensite* dan *retained austenite*. Proses *quenching* dan *partitioning* dari baja AISI 51B60 dan AISI 9260 dimulai dari pemanasan spesimen uji di dalam dapur pemanas. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Spesimen terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran, karat dan minyak yang menempel.
2. Spesimen dimasukkan ke dalam dapur pemanas (gambar 3.4) dan dipanaskan sampai temperatur 840 °C dan ditahan selama 1 jam (*holding time*).

3. Setelah *holding time* terpenuhi maka spesimen dicelupkan ke oli (gambar 3.5) selama 6 detik pada temperatur 180 °C
4. Setelah itu spesimen dipanaskan kembali dicelupkan pada *salt bath* (gambar 3.6) dengan temperatur 215 °C dengan waktu tahan divariasikan 500 detik, 1000 detik, 1750 detik, 2500 detik, dan 3600 detik. Proses akhir dari *quenching* dan *partitioning* ini dengan mencelupkan spesimen ke dalam air.



Gambar 3.3 Skema perlakuan panas untuk *quenching* dan *partitioning*

Ada beberapa peralatan yang menunjang dan digunakan pada proses perlakuan panas, yaitu:

1. Dapur Pemanas (*Furnace*)
 Dapur pemanas (*furnace*) yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :
 Merek : Naberthem B - 150
 Daya : 5,5kW
 Arus : 35 Ampere



Gambar 3.4 Dapur pemanas material (*Furnace*)

2. Dapur Pemanas (*Furnace*) *Salt Bath* untuk Proses *Quenching* dan *Partitioning*

Dapur pemanas *salt bath* untuk proses *partitioning* (*furnace*) yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Daya : 12kW

Frekuensi : 50/60Hz

Input : 3 Fase



Gambar 3.5 Dapur pemanas (*Furnace*) berisi oli untuk *quenching*



Gambar 3.6 Dapur pemanas (*Furnace*) *salt bath* untuk *partitioning*

Salt bath yang dipakai untuk proses itu adalah campuran Sodium Nitrit (NaNO_2), Potassium Nitrat (KNO_3), dan Sodium Nitrat (NaNO_3) yang memiliki komposisi 40 : 50 : 10. Campuran garam ini dapat dipakai pada kisaran 165°C – 595°C . Dalam penelitian ini *salt bath* berfungsi sebagai media pemanas pada proses *partitioning* setelah baja di-*quenching* di oli. Pada saat pendinginan spesimen dari temperatur 840°C menjadi temperatur 180°C dengan waktu tahan (*holding time*) selama 6 detik. *Salt bath* digunakan untuk pemanasan spesimen uji dengan temperatur 215°C .

3.4 Pengujian

Untuk mendapatkan data-data dari penelitian ini dilakukan tiga pengujian yaitu pengujian kekerasan, pengujian impak dan pengamatan struktur mikro.

3.4.1 Pengujian Kekerasan

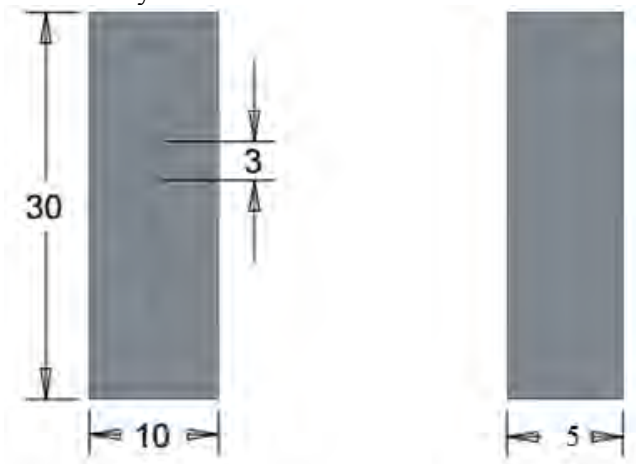
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari material awal dan material hasil proses perlakuan panas. Pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell c* mengikuti standar ASTM_E18-15. Mesin yang digunakan pada pengujian kekerasan yaitu mesin *rockwell* skala c (gambar 3.7) dengan indenter kerucut intan (*diamond cone*), mempunyai sudut puncak 120° dan menggunakan beban 150 kgf.



Gambar 3.7 Alat uji kekerasan *rockwell c*

Prosedur pengujian kekerasan *rockwell* skala *C* :

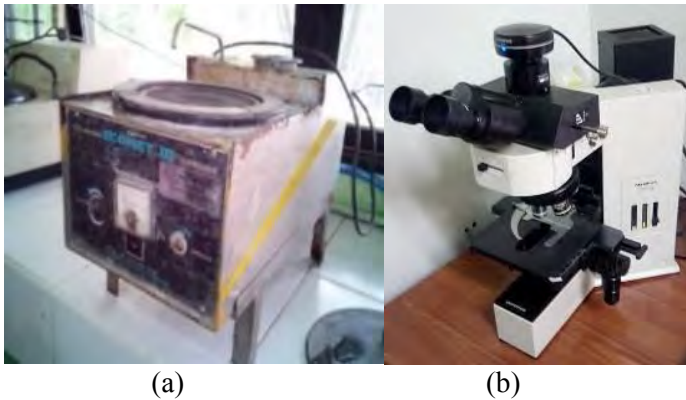
1. Spesimen uji awal dan yang telah melalui proses perlakuan panas dipotong menggunakan mesin *jigsaw* sesuai dimensi pada gambar 3.8.
2. Spesimen uji dari material baja pegas-daun digosok menggunakan kertas gosok *grit* 80-500 pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.9a).
3. Daerah permukaan spesimen uji baja dilakukan pemetaan lokasi indentasi tepat di bagian tengah dengan jarak antar titik indentasi adalah 3 mm.
4. Spesimen uji diletakkan pada mesin uji kekerasan *rockwell* skala *c* dan diberikan beban awal 10 kgf kemudian diberikan beban utama 150 kgf.
5. Nilai kekerasan dari spesimen uji langsung dapat dibaca pada jarum skala penunjuk dan dicatat hasilnya.



Gambar 3.8 Dimensi dan lokasi indentasi spesimen uji dengan satuan mm

3.4.2 Pengamatan Struktur Mikro

Dalam pengujian ini dibutuhkan peralatan yaitu mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.9 a) dan mikroskop optik (gambar 3.9 b) serta perlengkapan lain yaitu asam nitrat (HNO_3), alkohol, kain bludru, serbuk alumina, dan kertas gosok dengan *grit* 80 – 2000. Proses persiapan dari spesimen mengikuti standar ASTM E3-11. Proses etsa menggunakan larutan nital. Proses etsa menggunakan standar ASTM E407.



Gambar 3.9 (a) Mesin *grinding* dan *polishing* (b) Mikroskop optik

Prosedur pengamatan struktur mikro :

1. Spesimen dari material baja pegas-daun bekas yang telah dipotong sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan (spesimen yang digunakan sama dengan spesimen uji kekerasan)
2. Spesimen uji digosok menggunakan kertas gosok *grit* 80-2000 pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3.9 a).
3. Spesimen dipoles menggunakan kain bludru dan serbuk alumina hingga tidak ada goresan.
4. Spesimen dietsa menggunakan campuran 2% asam nitrat (HNO_3) dan 98% alkohol selama beberapa

detik, lalu dicelup dengan alkohol, kemudian dicuci menggunakan air dan dikeringkan.

5. Spesimen diamati struktur mikro menggunakan mikroskop optik (gambar 3.9 b) dengan perbesaran 500x dan 1000x.

3.4.3 Pengujian Impak

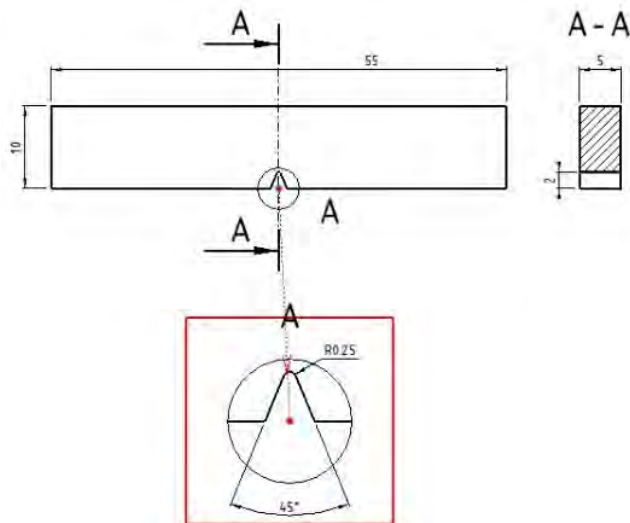
Pada penelitian ini dilakukan pengujian impak menggunakan mesin uji merk *frank* (gambar 3.10) dengan metode *charpy* dan dilakukan pada temperatur kamar, spesimen diberi takikan *V-Noth*. Spesimen uji material awal dan perlakuan panas diproses *machining* sesuai spesimen uji impak dengan standard *sub-specimen* JIS Z 2202 yang ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.10 Alat uji impak

Prosedur pengujian impak metode *Charpy* :

1. Baja bekas pegas-daun telah melalui proses perlakuan panas dilakukan *machining* sesuai dengan dimensi standar JIS Z 2202 (gambar 3.11).
2. Spesimen diletakkan pada landasan (*anvil*), bandul atau beban diangkat kemudian dilepaskan.
3. Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat.
4. *Impact strength* dihitung.



Gambar 3.11 Dimensi standar uji impak JIS Z 2202

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan pengumpulan data dilakukan pada spesimen baja bekas pegas daun yang telah melalui proses perlakuan panas. Data yang didapatkan dari pengujian yaitu nilai kekerasan, energi impak dan struktur mikro semua spesimen.

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Mesin uji yang digunakan pada pengujian komposisi kimia adalah spektrometer. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2, sedangkan lembar pengujian asli dapat dilihat pada lampiran 1. Baja AISI 51B60 dan AISI 9260 [8] digunakan sebagai pembanding dari hasil pengujian.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia Baja Bekas Pegas Daun Dari Hasil Uji Material 1

Unsur	Material 1 (% wt)	AISI 51B60 (% wt)
C	0,618	0,56-0,64
Si	0,236	0,15-0,30
Mn	0,675	0,75-1,00
P	0,0168	0,035
S	0,0194	0,040
Cr	0,846	0,70-0,90
Mo	0,0108	-
V	0,0182	-
B	0,0012	0,0005-0,003

Tabel 4.2 Komposisi Kimia Baja Bekas Pegas Daun Dari Hasil Uji Material 2

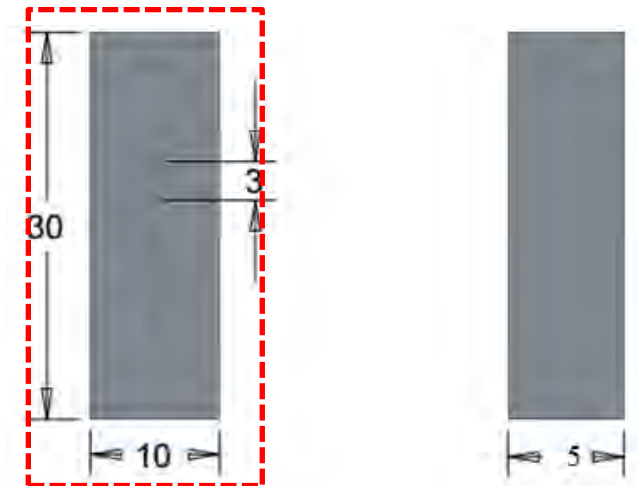
Unsur	Material 2 (% wt)	AISI 9260 (% wt)
C	0,612	0,56-0,64
Si	1,32	1,80-2,20
Mn	0,86	0,75-1,00
P	0,0287	0,035

S	0,0203	0,040
Cr	0,386	-
Mo	0,0226	-
V	0,002	-
B	0,0022	-

Dari hasil pengujian (tabel 4.1 dan tabel 4.2) dapat diketahui bahwa komposisi kimia baja bekas pegas daun masuk dalam kisaran standar AISI 51B60 dan AISI 9260 [8], sehingga dapat disimpulkan bahwa baja bekas pegas daun termasuk AISI 51B60 dan AISI 9260.

4.2 Pengujian Kekerasan

Dilakukan pengujian kekerasan pada 14 spesimen menggunakan metode *Rockwell C*. Spesimen dan lokasi indentasi permukaan ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Spesimen dan lokasi indentasi di permukaan (garis putus-putus merah)

4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan permukaan material 1 dan material 2 dituangkan pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan Spesimen Material 1

Kode	Spesimen	Kekerasan pada tiap titik indentasi (HRC)				
		1	2	3	4	5
B	AISI 51B60 Material Awal	45	45	44	45	45
H	AISI 51B60 <i>Hardening</i>	60	59	58	58	60
		Waktu <i>Partitioning</i> (Sec)				
QP 500	<i>Quenching dan Partitioning</i>	500	59	59	58	59
QP 1000		1000	56	57	58	57
QP 1750		1750	54	56	54	54
QP 2500		2500	53	53	54	53
QP 3600		3600	54	54	52	53

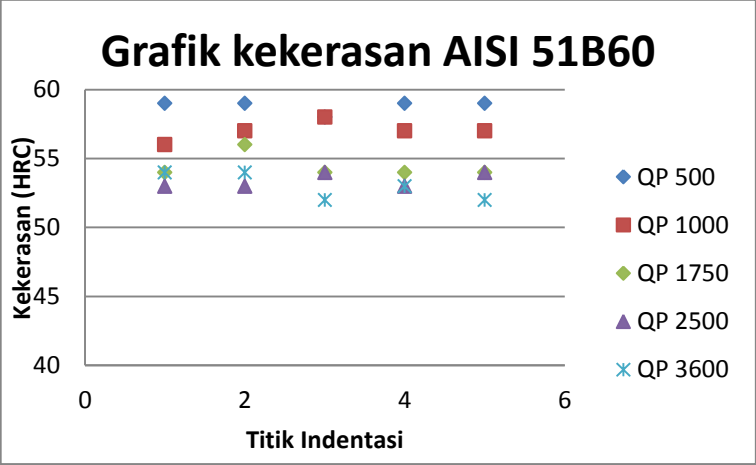
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Permukaan Spesimen Material 2

No	Spesimen	Kekerasan pada tiap titik indentasi (HRC)				
		1	2	3	4	5
B	AISI 9260 Material Awal	47	46	47	45	48
H	AISI 9260 <i>Hardening</i>	60	60	60	60	59
		Waktu <i>Partitioning</i>				

		(Sec)					
QP 500	Quenching dan Partitioning	500	59	59	60	60	60
QP 1000		1000	60	59	59	59	58
QP 1750		1750	58	58	59	59	58
QP 2500		2500	56	57	58	58	58
QP 3600		3600	56	57	56	57	58

4.2.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

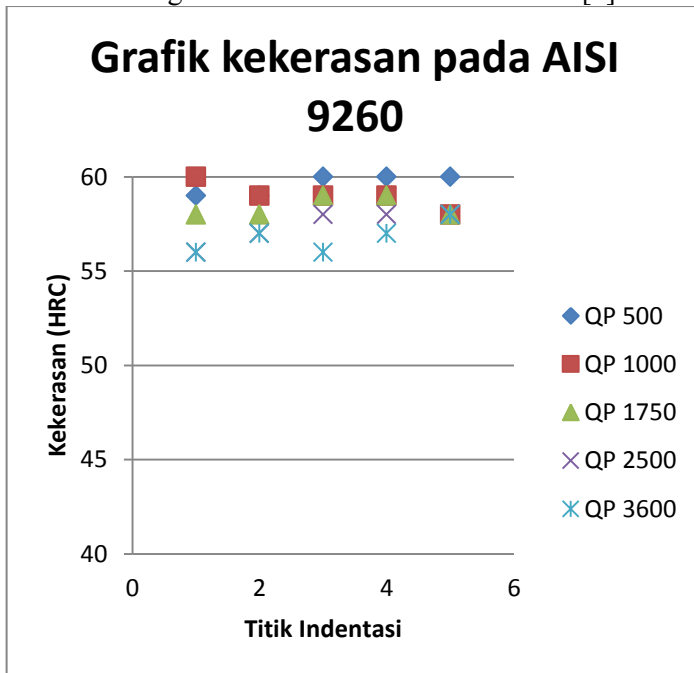
Dari data hasil pengujian dibuat grafik kekerasan permukaan spesimen yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi AISI 51B60

Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan permukaan pada setiap variabel proses mengalami fluktuasi, tetapi kisarannya tidak terlalu besar. Contoh fluktuasi kekerasan permukaan material 1 hasil *quenching-partitioning* dengan waktu

penahanan 3600 detik dapat dijelaskan sebagai berikut, pada saat spesimen bertemperatur 840°C dicelup ke dalam oli yang memiliki temperatur 180°C , maka oli disekitar permukaan spesimen bisa menjadi uap. Uap akan menghambat perpindahan panas spesimen ke media pendingin jika tidak segera lepas dari permukaan. Waktu terlepasnya uap antara satu titik permukaan dengan titik yang lain tidak sama, sehingga laju pendinginan berbeda dan mengakibatkan kekerasan tidak merata [5].



Gambar 4.3 Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi AISI 9260

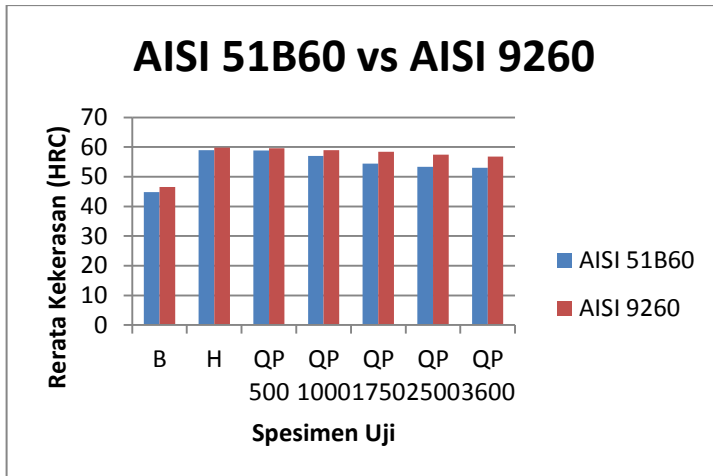
Hasil kekerasan material 2 setiap variabel proses (gambar 4.3) juga memiliki perbedaan, tetapi kisarannya lebih kecil jika dibandingkan dengan kekerasan material 1. Perbedaan kekerasan material AISI 51B60 dan AISI 9260 tidak terlalu jauh menunjukkan bahwa material baja pegas daun tidak berpengaruh

signifikan dan hasilnya diasumsikan sama, sehingga bisa dirata-rata. Kisaran dan rerata kekerasan spesimen dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kisaran dan Rerata Kekerasan Spesimen

Kode	Spesimen	AISI 51B60		AISI 9260		
		Kisaran Kekerasan (HRC)	Rerata Kekerasan (HRC)	Kisaran Kekerasan (HRC)	Rerata Kekerasan (HRC)	
B	Material Awal	44 - 45	44,8	45 - 48	46,6	
H	Hardening	58 - 60	59	59 - 60	59,8	
		Waktu Partitioning (Sec)				
QP 500	Quenching dan Partitioning	500	58 - 59	58,8	59-60	59,6
QP 1000		1000	56 - 58	57	58-59	59
QP 1750		1750	54 - 56	54,4	58-59	58,4
QP 2500		2500	53 - 54	53,4	56 - 58	57,4
QP 3600		3600	52 - 54	53	56 - 58	56,8

Untuk mempermudah melihat rerata kekerasan permukaan dan penampang spesimen, maka nilai tersebut dituangkan pada grafik (gambar 4.4).



Gambar 4.4 Grafik rerata kekerasan material AISI 51B60 dan AISI 9260

Sebagai data pembandingan *quenching-partitioning*, material 1 dan 2 dilakukan *hardening*. Pengerjaan pisau dapur di pande besi dilakukan dengan cara *hardening*. Rerata kekerasan *hardening* material AISI 51B60 tidak jauh berbeda dengan rerata kekerasan *hardening* AISI 9260. Kisaran kekerasan permukaan material AISI 51B60 antara 58 – 60 HRC, sedangkan kekerasan material 9260 berada pada kisaran 59 – 60 HRC.

Setelah *hardening*, dilakukan *partitioning* pada temperatur 215°C. Grafik kekerasan hasil *quenching-partitioning* menunjukkan penurunan terhadap nilai kekerasan hasil *hardening* untuk kedua material AISI 51B60 dan AISI 9260. Waktu *quenching-partitioning* terpendek (500 detik) menunjukkan penurunan rerata kekerasan terkecil pada material AISI 51B60 dan AISI 9260 yaitu 58,8 HRC dan 59,6 HRC. Penurunan rerata nilai kekerasan terbesar pada material AISI 51B60 yaitu 53 HRC dan material AISI 9260 yaitu 56,8 HRC didapatkan dari waktu *quenching-partitioning* terlama (3600 detik). Pada penelitian ini, penggunaan baja pegas daun adalah sebagai bahan baku pembuatan pisau dapur. Jim Hrisoulas [16] menyatakan bahwa

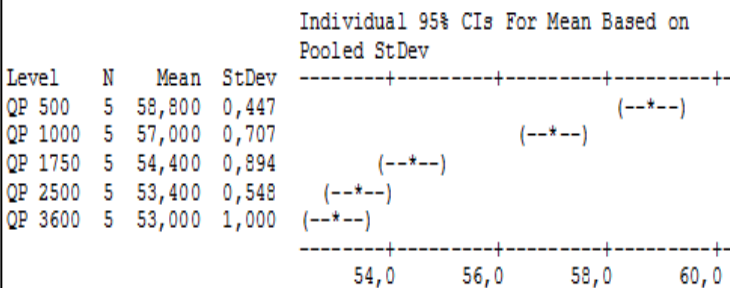
kisaran kekerasan pisau dapur yang ideal yaitu antara 55 HRC sampai 57 HRC, nilai kekerasan hasil pengujian yang masuk dalam kisaran tersebut didapatkan dari waktu *quenching-partitioning* 1000 detik untuk material AISI 51B60 dan 3600 detik untuk material AISI 9260.

Untuk mengetahui apakah waktu *quenching-partitioning* berpengaruh terhadap kekerasan permukaan dan penampang pisau dapur, maka dilakukan pengujian menggunakan metode statistik anova. Pengujian anova pada laporan penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan atau *Convident Level* (CL) sebesar 95%.

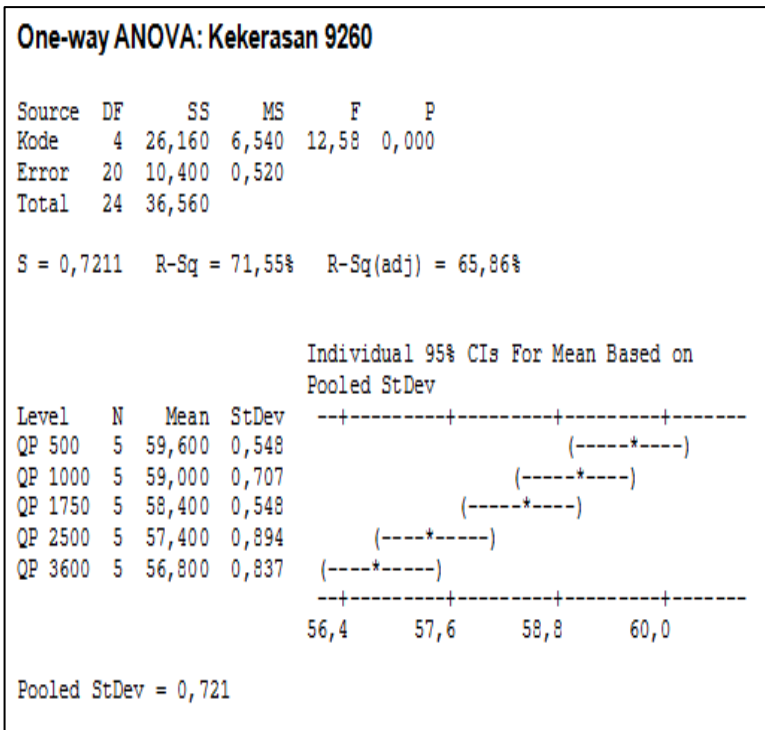
One-way ANOVA: Kekerasan 51B60

Source	DF	SS	MS	F	P
Kode	4	124,240	31,060	55,46	0,000
Error	20	11,200	0,560		
Total	24	135,440			

S = 0,7483 R-Sq = 91,73% R-Sq(adj) = 90,08%



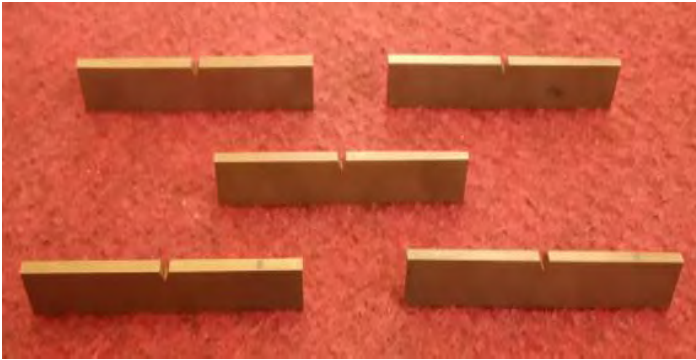
Pooled StDev = 0,748



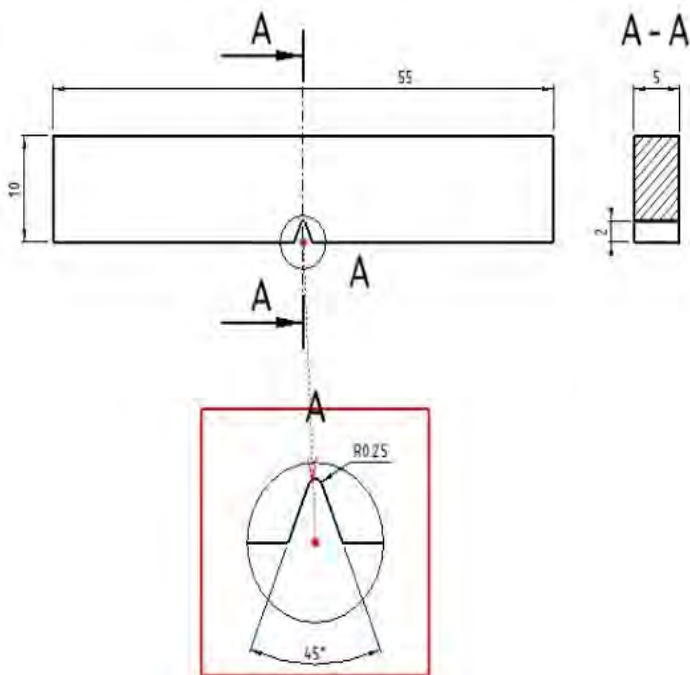
Dari hasil pengujian menggunakan metode *One-way ANOVA* didapatkan nilai tingkat signifikan (*P-value*) : 0%. Nilai tingkat signifikan (*P-value*) < 5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu *quenching-partitioning* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan permukaan baja pegas daun AISI 51B60 dan AISI 9260.

4.3 Pengujian Impak

Beban yang digunakan pada pengujian impak metode *Charphy* sebesar 15 kg. Spesimen uji impak ditunjukkan pada gambar 4.5 dan dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.5 Spesimen uji impact



Gambar 4.6 Dimensi spesimen uji impact

4.3.1 Data Hasil Pengujian Impak

Dari pengujian diperoleh energi untuk mematahkan spesimen yang digunakan untuk menghitung *impact strength*. Persamaan di bawah ini digunakan untuk menghitung *impact strength*:

$$IS = \frac{\text{Energi Impak}}{A}$$

Dimana :

IS : *Impact Strength* (Joule / mm²)

A : Luas Patahan Spesimen (mm²)

Untuk mendapatkan luas patahan pada spesimen digunakan persamaan :

A = Tebal patahan x Tebal patahan sisa

Data hasil pengujian impak ditampilkan pada tabel 4.6 dan tabel 4.7.

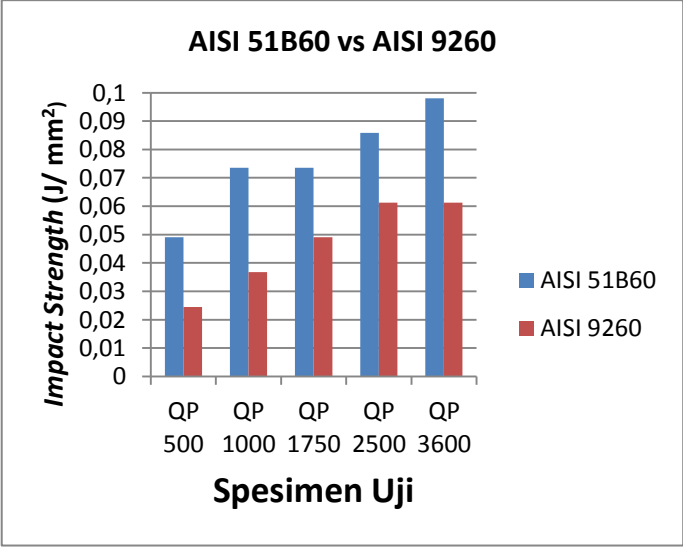
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Impak Material AISI 51B60

No	Spesimen	Parameter			
		Energi, (E) J	Tebal patahan, (tp) mm	Tebal sisa patahan, (ts) mm	<i>Impact strength</i> , (IS) J/mm ²
1	AISI 51B60 Material Awal	15,69064	8	-	0,392266
2	AISI 51B60 <i>Hardening</i>	0,980665	8	-	0,024516625
	Waktu <i>Partitioning</i> (Sec)				
3	<i>Quenching dan Partitioning</i>	500	8	-	0,04903325
4		1000	8	-	0,073549875
5		1750	8	-	0,073549875
6		2500	8	-	0,085808188
7		3600	8	-	0,0980665

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Impak Material AISI 9260

No	Spesimen	Parameter				
		Energi, (E) J	Tebal patahan, (tp) mm	Tebal sisa patahan, (ts) mm	Impact strength, (IS) J/mm2	
1	AISI 9260 Material Awal	12,748645	8	-	0,318716125	
2	AISI 9260 <i>Hardening</i>	0,980665	8	-	0,024516625	
		Waktu Partitioning (Sec)				
3	<i>Quenching dan Partitioning</i>	500	0,980665	8	-	0,024516625
4		1000	1,4709975	8	-	0,036774938
5		1750	1,96133	8	-	0,04903325
6		2500	2,4516625	8	-	0,061291563
7		3600	2,4516625	8	-	0,061291563

Data *impact strength* dari tabel di atas dituangkan pada grafik untuk mempermudah membandingkan antar spesimen dengan antar material (gambar 4.7).







Gambar 4.7 Grafik *impact strength*


4.3.2 Analisis dan Pembahasan Pengujian Impak

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa waktu *quenching-partitioning* terlama (3600 detik) menghasilkan nilai *impact strength* terbesar yaitu 0,0980665 J/mm² untuk material AISI 51B60 dan 0,061291563 J/mm² untuk material AISI 9260. Sedangkan nilai *impact strength* terkecil yaitu 0,04903325 J/mm² dan 0,024516625 J/mm² untuk masing-masing material AISI 51B60 dan AISI 9260 dihasilkan dari waktu *quenching-partitioning* terpendek (500 detik). Pada penelitian sebelumnya [17] dengan penelitian *partitioning* ini memiliki kecenderungan yang sama yaitu *impact strength* semakin naik seiring lamanya waktu *partitioning*. Terjadi kenaikan *impact strength* menunjukkan bahwa tegangan sisa pada material hasil *hardening* sudah hilang [5]. Gambar pola patahan hasil pengujian impak dapat dilihat pada tabel 4.8 dan tabel 4.9




Tabel 4.8 Pola Patahan Hasil Pengujian Impak Material AISI 51B60





KOD E	Spesimen	Pola patahan
B	AISI 51B60 Material Awal	
H	AISI 51B60 <i>Hardening</i>	

		Waktu <i>Partitionin</i> <i>g (Sec)</i>	
QP 500	<i>Quenching</i> dan <i>Partitionin</i> <i>g</i>	500	
QP 1000		1000	
QP 1750		1750	
QP 2500		2500	

QP 3600		3600	
------------	--	------	---

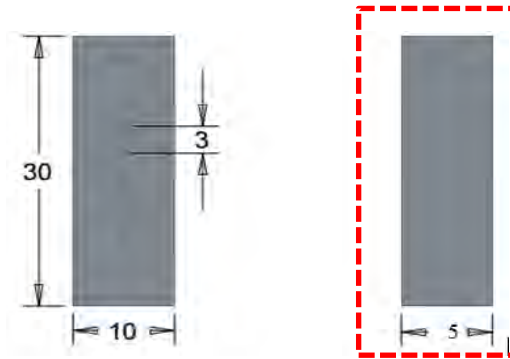
Tabel 4.9 Pola patahan hasil pengujian impak material AISI 9260

Kode	Spesimen	Pola patahan	
B	AISI 9260 Material Awal		
H	AISI 9260 Hardening		
		Waktu Partitoning (Sec)	
QP 500	Quenching dan Partitoning	500	

QP 100 0		1000	
QP 175 0		1750	
QP 250 0		2500	
QP 360 0		3600	

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Lokasi pengamatan struktur mikro pada spesimen ditunjukkan pada gambar 4.8. Hasil pengamatan struktur mikro dituangkan pada tabel 4.10.



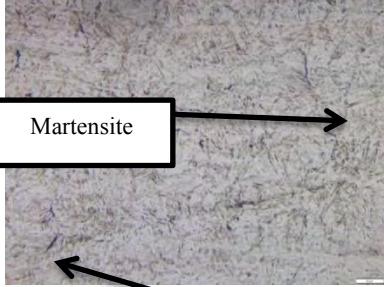
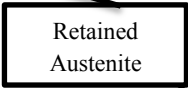
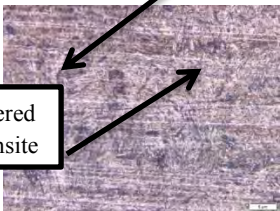
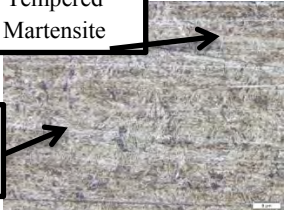
Gambar 4.8 Lokasi pengamatan struktur mikro (garis putus-putus merah)

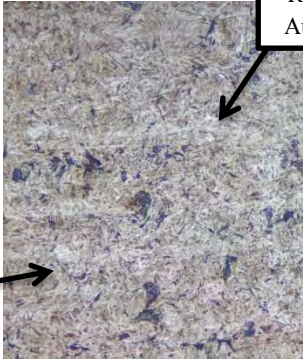
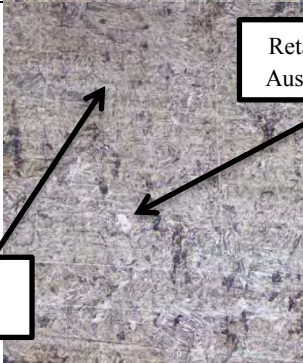
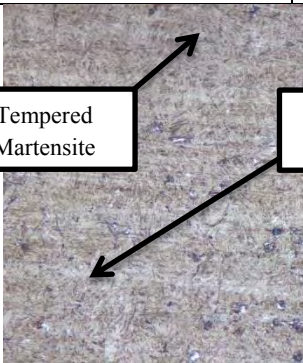
4.4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Didapatkan struktur mikro hasil pengamatan semua spesimen dan dituangkan pada tabel 4.10 dan tabel 4.11.

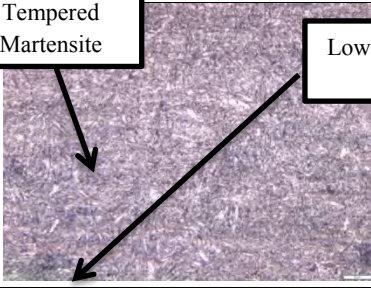
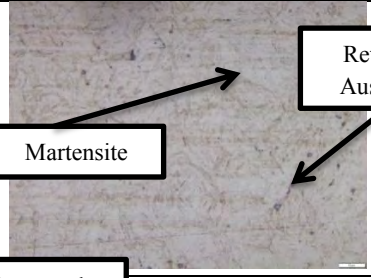
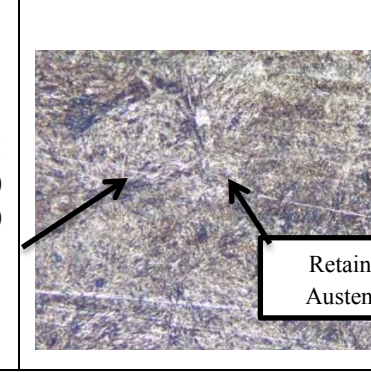
Tabel 4.10 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Penampang Spesimen AISI 51B60

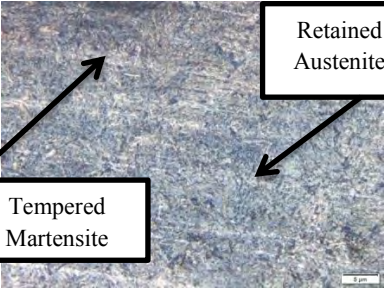
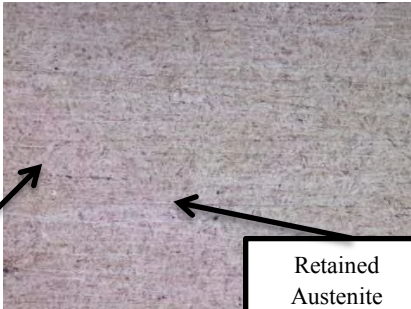
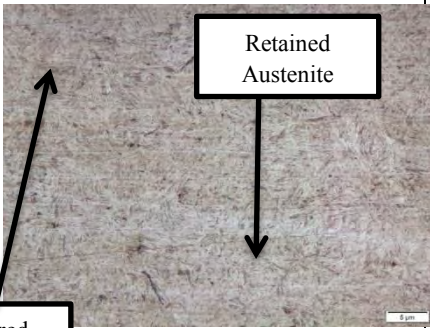
No	Spesimen	Struktur Mikro Perbesaran 1000x	Keterangan
1	AISI 51B60 Material Awal		Tempered Martensite (gelap) dan Lower Bainite

2	AISI 51B60 Hardening			Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)
		Waktu Partitoning (Sec)		
3	Quenching dan Partitoning	500		Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)
4		1000		Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)

5	1750	 <p>Retained Austenite</p> <p>Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)</p> <p>Tempered Martensite</p>
6	2500	 <p>Retained Austenite</p> <p>Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)</p> <p>Tempered Martensite</p>
7	3600	 <p>Retained Austenite</p> <p>Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)</p> <p>Tempered Martensite</p>

Tabel 4.11 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pada Penampang Spesimen AISI 9260

No	Spesi men	Struktur Mikro Perbesaran 1000x	Keterangan
1	AISI 9260 Material Awal	 <p>Tempered Martensite</p> <p>Lower Bainite</p>	Tempered Martensite (gelap) dan Lower Bainite
2	AISI 9260 Hardening	 <p>Martensite</p> <p>Retained Austenite</p>	Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)
3	Waktu Partitio (Sec)	Tempered Martensite	
3	Quenching dan Partitio ning	 <p>Retained Austenite</p>	Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)

4		1000		Tempered Martensite	Retained Austenite	Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)
5		1750		Tempered Martensite	Retained Austenite	Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)
6		2500		Tempered Martensite	Retained Austenite	Tempered Martensite (gelap) dan Retained Austenite (terang)

tempered martensite (gelap) dan *retained austenite* (terang). Terbentuknya struktur mikro *tempered martensite* dan *retained austenite* dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika baja pegas daun dilakukan *quenching-partitioning* pada temperatur 215°C (di bawah temperatur *martensite start*), maka *martensite* berdekomposisi menjadi *tempered martensite* dan struktur mikro yang lainnya tetap *retained austenite* karena *quenching-partitioning* dilakukan pada temperatur di bawah temperatur *martensite start*. Terbentuknya *retained austenite* meningkatkan ketangguhan seiring bertambahnya waktu tahan *partitioning*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian setelah proses pengambilan dan analisis data pengaruh waktu tahan *quenching-partitioning* terhadap kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro baja AISI 51B60 dan baja AISI 9260 adalah :

1. Nilai kekerasan pegas daun semakin turun seiring lamanya waktu tahan *quenching-partitioning*. Waktu tahan *quenching-partitioning* tersingkat (500 detik) menghasilkan kekerasan rerata tertinggi yaitu 58,8 HRC untuk material AISI 51B60, sedangkan kekerasan rerata tertinggi dihasilkan dari waktu tahan *quenching-partitioning* tersingkat (500 detik) yaitu 59,6 HRC untuk material AISI 9260.
2. Nilai *impact strength* baja pegas daun meningkat seiring lamanya waktu tahan *quenching-partitioning*. *Impact strength* terbesar didapatkan dari waktu tahan *quenching-partitioning* terlama (3600 detik) yaitu $0,098 \text{ J/mm}^2$ untuk material AISI 51B60, sedangkan waktu tahan *quenching-partitioning* terlama (3600 detik) menghasilkan *impact strength* terbesar yaitu $0,061 \text{ J/mm}^2$ untuk material AISI 9260.
3. Struktur mikro baja pegas daun yang dihasilkan dari *quenching-partitioning* material AISI 51B60 dan AISI 920 yaitu *tempered martensite* dan *retained austenite* dimana kekerasan dan kekuatan pisau dapur turun, sedangkan ketangguhan dan keuletannya naik.

5.2 Saran

1. Penelitian *quenching-partitioning* baja pegas daun dapat dikembangkan dengan tipe baja yang lain.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat diperdalam untuk melihat ketahanan aus dan ketahanan korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] George E. Totten. 2007 . *Steel Heat Treatment 2nd Edition*. USA : Taylor & Francis Group
- [2] William.D.Callister.Jr. 2007. *Material Science and EGINEERING.8th*.USA : John Willey & Sons
- [3] Yoshiro Yamada. 2007. *Materials for Spring*. New York : Springer
- [4] SAE J404
- [5] S. H. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy, 2nd.:* McGraw Hill, 1974.J.
- [6] Thelning, K.E.,”*Steel and Its Heat Treatment, 2nd*”, Butterworths, London, 1984
- [7] ASM Handbook Vol.4. 1991. *Heat Treating*. USA : ASM International
- [8] ASM Handbook 2nded “*Heat Threater’s Guide: Practice and Procedures for Irons and Steels*”, ASM International, 1995
- [9] Khisni Sains. 2017. Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan *Partitioning* Pada Proses *Quenching – Partitioning* Baja JIS S45C di Bawah Temperatur *Martensite Start*. Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [10] J. Speer, *et al.*,”*Carbon Partitioning into Austenite After Martensite Transformation*,” *Acta Materialia*, vol. 51, pp.2611 – 2622, 2003.
- [11] J.G. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman, J.G. Schroth, The “*Quenching and Partitioning*” Process: Background and Recent Progress, vol. 8, no. 4, pp. 417 - 423, 2005.
- [12] D. V. Edmons, *et al.*,”*Quenching and Partitioning Martensite – A Novel Steel Heat Treatment*,” *Material Science and Engineering: A*, vol. 438 – 440, pp. 25 – 34, 2006.

- [13] <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/rockwell.htm>
Jumat, 12 Mei 2017
- [14] Wahid Suherman. 1987. *Diktat Pengetahuan Bahan*.
Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [15] George Krauss, "Martensite in Steel: Strength and
Structure," Material Science and Engineering, A273 –
275, 40 – 57, 1999.
- [16] Jim Hrisoulas. 1991. *The Master Bladesmith*. USA :
Paladin Enterprises, Inc
- [17] Ridha Wildania. 2017. Pengaruh Waktu *Tempering*
Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Pisau Dapur
Berbahan Baja Bekas Pegas Daun. Surabaya : Teknik
Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi
Sepuluh Nopember
- [18] Douglas C. Montgomery. 2013. *Design and Analysis of
Experiments 8th*. USA : John Willey & Sons

LAMPIRAN 1

Lembar hasil pengujian komposisi kimia material 1 (51B60)



barata indonesia
PT. (PUSKASRI)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 01 Customer :
Furnace : Name of Equipment : Baja Pegas Daun Truck
Heat No : Order No :
Lab. No : 08032017/000 Material :

Spekroanalyzer Foundry-MASTER									
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	97,1	0,676	0,230	0,677	0,0207	0,0189	0,801	0,0119	0,0347
2	97,1	0,642	0,254	0,681	0,0158	0,0203	0,870	0,0104	0,0246
3	97,3	0,535	0,222	0,667	0,0139	0,0191	0,867	0,0101	0,0273
Ave	97,2	0,618	0,236	0,675	0,0168	0,0194	0,846	0,0108	0,0289

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0079	0,0198	0,209	0,0264	< 0,0010	0,0377	0,0147	< 0,0025	0,0111
2	0,0084	0,0037	0,142	< 0,0010	< 0,0010	0,0077	0,0140	< 0,0025	0,0168
3	0,0060	0,0163	0,126	0,0190	< 0,0010	0,0091	0,0115	< 0,0025	0,0125
Ave	0,0075	0,0133	0,159	0,0151	< 0,0010	0,0182	0,0134	< 0,0025	0,0135

	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb
1	0,0015	0,0034	0,0148	< 0,0050	0,0122	0,0109	< 0,0030
2	0,0011	0,0056	0,0089	0,0203	0,0108	0,0752	< 0,0030
3	0,0011	0,0016	< 0,0015	0,0159	0,0112	0,0425	< 0,0030
Ave	0,0012	0,0036	0,0079	0,0134	0,0114	0,0429	< 0,0030

Town Gresik - Jatim Date 09/03/2017 Tester Agung Setiawan QC. Manager Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

LAMPIRAN 2

Lembar hasil pengujian komposisi kimia material 2 (AISI 9260)



barata indonesia
PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 03

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Baja Pegas Daun Tossa

Heat No :

Order No :

Lab. No : 08032017/000

Material :

Spektroanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	96,2	0,589	1,44	0,875	0,0300	0,0200	0,401	0,0262	0,0397
2	96,3	0,559	1,25	0,852	0,0272	0,0197	0,389	0,0187	0,0333
3	96,4	0,589	1,25	0,851	0,0290	0,0213	0,367	0,0228	0,0378
Ave	96,3	0,612	1,32	0,860	0,0287	0,0203	0,386	0,0226	0,0369

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0328	0,0197	0,117	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0422	0,0042	0,0387
2	0,0303	0,0100	0,156	< 0,0010	0,0114	0,0060	0,0226	< 0,0025	0,0389
3	0,0338	0,0079	0,142	< 0,0010	0,0018	< 0,0010	0,0437	0,0058	0,0437
Ave	0,0323	0,0125	0,138	< 0,0010	0,0044	0,0020	0,0362	0,0041	0,0404

	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb
1	0,0019	0,0019	0,0031	< 0,0050	0,0118	0,0315	< 0,0030
2	0,0024	0,0033	0,0032	< 0,0050	0,0072	0,0351	< 0,0030
3	0,0023	0,0018	0,0150	< 0,0050	0,0118	0,0750	< 0,0030
Ave	0,0022	0,0023	0,0071	< 0,0050	0,0102	0,0539	< 0,0030

Town
Gresik - Jatim

Date
09/03/2017

Tester
Agung Setiawan

QC. Manager
Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

RIWAYAT PENULIS



Muhammad Hary Kusuma merupakan nama lengkap dari penulis tugas akhir ini. Penulis yang terlahir di Yogyakarta pada 25 Agustus 1992 ini merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Tugiman dan Ibu Salbiyah. Penulis memulai pendidikan formal di TK Aba Musholla kemudian melanjutkan ke SD Negeri Kotagede I. Setelah lulus tahun 2005 penulis melanjutkan ke SMP Negeri 9 Yogyakarta dan kemudian melanjutkan ke SMA Negeri 5 Yogyakarta pada tahun 2008. Setelah menyelesaikan studi tingkat menengah atas, penulis menempuh pendidikan di Jurusan D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada pada tahun 2011 dan lulus pada tahun 2014. Sebelum menyelesaikan pendidikan diploma, penulis pernah kerja praktek di PT. Hexindo Adiperkasa Tbk di site batubara berlokasi di Berau dan di *remanufacturing workshop* Balikpapan, Kalimantan Timur. Pada tahun 2015, penulis tergerak untuk melanjutkan studi S1 Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menuntut ilmu D3 maupun S1, penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Karena ketertarikan terhadap metalurgi, penulis mendedikasikan tugas akhir pada bidang tersebut dengan topik penelitian yang diambil berupa perlakuan panas *quenching-partitioning* pada baja pegas daun.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

